

# **ESTUFAS AGRÍCOLAS EM ESTRUTURA METÁLICA**

**CARACTERIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DOS DANOS RESULTANTES DA AÇÃO  
DO VENTO**

**SUSANA GONÇALVES GARRIDO DE LIMA MARTINS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM JUNHO DE 2014

MIEC – MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS



# **ESTUFAS AGRÍCOLAS EM ESTRUTURA METÁLICA**

Caracterização da problemática dos danos  
resultantes da ação do vento

**SUSANA GONÇALVES GARRIDO DE LIMA MARTINS**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS**

---

Orientador: Professor Doutor José Miguel de Freitas Castro

---

Coorientador: Doutor Mário António Lage Alves Marques

JUNHO DE 2014



## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.



## **AGRADECIMENTOS**

Um trabalho desta natureza só se torna possível através da intervenção e colaboração de um conjunto de pessoas. Neste sentido, é minha intenção expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de formas diferentes estiveram envolvidos e contribuíram para que fosse possível levar a cabo todo este processo que levou à conclusão desta dissertação.

Aos Professores Doutores José Miguel Castro e Mário Marques, pela paciência, disponibilidade e compreensão, mas sobretudo pela sabedoria e competência com que conduziram a este processo.

Ao Renato, Jorge, Fábio e Pala pela constante disponibilidade no desenrolar do presente estudo, sobretudo pelos conselhos que se tornaram marcantes no despoletar do tema.

Aos produtores agrícolas, aos técnicos das empresas de construção de estufas e agentes de seguros, assim como responsáveis da Horpozim, Eng. David Loureiro e Eng. Maria José Abreu que se disponibilizaram a participar no estudo.

À minha família, em especial aos meus pais pelo apoio, carinho e dedicação.





## **RESUMO**

A agricultura protegida surgiu no início do séc. XX, no Norte da Europa, com as estufas de vidro. Nos anos 60, com a introdução do filme plástico como material de revestimento, o uso de estufas expandiu-se para regiões com Inverno ameno. Em Portugal, o uso destas estruturas tem seguido o crescimento internacional, adotando-se essencialmente estruturas multi-túneis com revestimento de filme plástico.

As estufas são estruturas altamente sofisticadas, que protegem as culturas contra o vento, chuva, neve e granizo, assim como doenças ou temperaturas extremas. Estas estruturas promovem as condições ideais, para o crescimento das plantas e culturas ao longo dos anos, procurando otimizar a transmissão de radiação solar, humidade, temperatura e níveis de CO<sub>2</sub> (Elsner, B.v. [et al.], 2000, J. Vázquez [et al.], 2011, Kendirli, B., 2006). Contudo, para se criarem as condições ideais para o crescimento das culturas, é necessário que se utilizem elementos estruturais esbeltos, de forma a reduzir o sombreamento nas plantas. Estas estruturas tornam-se muito vulneráveis para as condições meteorológicas adversas, em especial o vento. Nas últimas décadas os episódios de danos estruturais devido ao vento têm sido frequentes e a sua reconstrução normalmente envolve apoios económicos provenientes de fundos estruturais Europeus ou do estado português.

O presente estudo pretende enquadrar a problemática e identificar as causas associadas aos danos frequentes em estruturas de estufas agrícolas resultantes da ação do vento, que resulta em investimentos avultados para a sua reparação. Para tal, procurou-se caracterizar todos os agentes envolvidos, conhecendo as necessidades dos agricultores, os procedimentos dos construtores e as exigências das seguradoras.

A norma europeia EN13031-1 que regula o processo construtivo das estufas comerciais é desconhecida da maioria dos intervenientes, sendo um instrumento fundamental para a diminuição de danos estruturais devidas a ações externas.

No presente estudo concluiu-se que a utilização da norma EN 13031-1 permitirá realizar estruturas mais resistentes aos fenómenos atmosféricos, em especial o vento. Atualmente as soluções adotadas pelas construtoras não garantem segurança tendo em conta as combinações de ações estudadas. A alteração das secções e a utilização de treliças nos pilares são alternativas viáveis e que respeitam os critérios mínimos de segurança. Consequentemente, os produtores beneficiarão de melhores análises de risco, por parte das seguradoras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estufas agrícolas, Estruturas metálicas, EN 13031-1, Ação do vento.



## **ABSTRACT**

Protected agriculture appeared early in century XX, in Northern Europe, with glass greenhouses. In the 60's with the introduction of the plastic film as a coating material, the use of greenhouses expanded to regions with mild winter. In Portugal, the use of these structures has followed international growth, essentially adopting multi tunnel structures with plastic film coating.

Greenhouses are highly sophisticated structures that protect crops from wind, rain, snow and hail, as well as diseases or extreme temperatures. Over the years, these structures promote optimal conditions for the growth of plants and crops trying to optimize the transmission of solar radiation, humidity, temperature and CO<sub>2</sub> levels (Elsner, B.v. [et al.], 2000, J. Vázquez [et al.], 2011, Kendirli, B., 2006). However, in order to create the best conditions for crop growth, it is necessary to use slender structural elements, in order to reduce crop shading. These structures are very vulnerable to the adverse weather conditions, especially wind. In the last decades the episodes of structural damage due to wind have been frequent and usually involve financial support from the European Union or the Portuguese state.

The present work studied the reasons that lead to frequent damage in the structures resulting of wind load on the greenhouses and that involves in huge investments for repair. For such, we try to characterize all those involved, knowing the needs of farmers, the procedures of the builders and the requirements of insurers.

The European standard EN13031-1 which regulates the construction process of commercial greenhouses is unknown to most people. It is an important key to reduce the structural damage due to external loads.

In this study it was concluded that the use of EN 13031-1 structures will allow for more resistant to atmospheric phenomena's, specially the wind. Nowadays the solutions adopted by the builders don't guarantee safety taking into account the combinations of actions studied. Changing sections or use trusses in the columns are good alternatives, complying the minimum safety criteria. Therefore, producers will benefit from better risk analysis by insurers.

**KEYWORDS:** Greenhouse, metallic structure, EN 13031-1, wind load.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	VII
RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	XI
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
<b>2. AS ESTUFAS AGRÍCOLAS .....</b>	<b>3</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.2. A AGRICULTURA PROTEGIDA NO MUNDO .....	3
2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ESTUFAS .....	5
2.3.1. MATERIAL DE REVESTIMENTO .....	8
2.3.2. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO .....	9
2.3.3. FORMA DA ESTUFA .....	10
2.4. DANOS NAS ESTRUTURAS .....	15
<b>3. A NORMA EN 13031-1 .....</b>	<b>17</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	17
3.1.1. TEMPO DE VIDA MÍNIMO .....	18
3.1.2. CONDIÇÕES .....	18
3.1.2.1. DURABILIDADE .....	19
3.1.2.2. TOLERÂNCIA .....	19
3.1.2.3. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO .....	20
3.2. AÇÕES EM ESTRUTURAS DE ESTUFAS .....	20
3.3. ANEXO B – AÇÃO DO VENTO .....	24
3.3.1 COEFICIENTES AERODINÂMICOS .....	25
3.4. ANEXO D – ESTADO LIMITE ÚLTIMO DOS ARCOS .....	29
3.5. ANEXO I - MÉTODO DE CÁLCULO PARA ESTUFAS DE PLÁSTICO .....	29
<b>4. ESTRUTURAS DE ESTUFAS .....</b>	<b>31</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	31
4.2. AS ESTRUTURAS AGRÍCOLAS PROTEGIDAS .....	31
4.2.1. CARATERIZAÇÃO DAS ESTUFAS .....	31
4.2.2. DANOS NAS ESTUFAS DA REGIÃO DA PÓVOA DE VARZIM, VILA DO CONDE E ESPOSENDE .....	34
4.3. AS EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO DE ESTUFAS .....	37

<b>4.4. AS EMPRESAS DE SEGUROS DE ESTUFAS .....</b>	<b>41</b>
<b>5. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS DE ESTUFAS .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. AÇÕES SOBRE A ESTRUTURA .....</b>	<b>48</b>
5.2.1. AÇÕES PERMANENTES, $G_{K1}$ .....	48
5.2.2. AÇÕES PRESENTES PERMANENTEMENTE $G_{K2}$ .....	48
5.2.3. AÇÃO DO VENTO $Q_{K1}$ .....	49
5.2.3.1. Categoria do terreno.....	49
5.2.3.2. Valor de referência da velocidade do vento .....	49
5.2.3.3. Vento médio.....	49
5.2.3.4. Intensidade de turbulência do vento .....	50
5.2.3.5. Pressão dinâmica de pico .....	51
5.2.3.6. Pressões exterior e interior devidas ao vento .....	51
5.2.3.7. Forças exercidas pelo vento.....	52
5.2.4. AÇÃO DAS CULTURAS $Q_{K3}$ .....	53
5.2.5. AÇÃO DO FILME PLÁSTICO NO ARCO .....	54
<b>5.3. COMBINAÇÃO DAS AÇÕES .....</b>	<b>56</b>
5.3.1. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS .....	56
5.3.1.1. Vento como ação de base e ação do cultivo como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando desfavoravelmente .....	56
5.3.1.2. Vento como ação de base e ação do cultivo como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando favoravelmente .....	56
5.3.1.3. Culturas como ação de base e ação do vento como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando desfavoravelmente .....	56
5.3.1.4. Culturas como ação de base e ação do vento como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando favoravelmente .....	57
5.3.1.5. Ação do vento e ação do permanente desfavorável.....	57
5.3.1.6. Ação do vento e ação permanente favorável.....	57
<b>5.4. ESTADO LIMITE ÚLTIMO DA ESTUFA AGRÍCOLA EM ESTRUTURA METÁLICA .....</b>	<b>57</b>
5.4.1. CLASSIFICAÇÃO DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS .....	57
5.4.2. REQUISITOS PARA A VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DO ARCO.....	58
<b>6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>65</b>
<b>6.1. CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>

**6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS ..... 66**





## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Estufas de vidro realizadas no séc. XIX. Estufas Reais de Laejen, em Bruxelas (em cima) (S/A, SD), Crystal Park em Londres (em baixo à esquerda) (Delamotte, P.H. and Zambra, N.a., 1854 ?) e no Porto (em baixo à direita) (Alberto, N.d.S., 1864).....	2
Fig. 2 – Vista aérea da região de Almeria, no Sul de Espanha (Athus-Bertrand, Y., SD). ....	4
Fig. 3 – Área envolvida na produção protegida, da Bacia Mediterrânea (Pérez, J. [et al.], 2002). ....	4
Fig. 4 – Estufa de bambu, na Índia (à esquerda) (Horticultural College and Research Institute, 2013) e estufa tipo Parral (à direita)(Invernaderos El Pilar S.C.L., 2009).....	6
Fig. 5 – Estufa tipo Venlo, revestida com vidro (B. von Elsner [et al.], 2000).....	11
Fig. 6 – Estufa de grande vão, onde se podem observar os diferentes tipos de ventiladores (B. von Elsner [et al.], 2000). ....	11
Fig. 7 – Estufa multi-túnel com cobertura <i>shedroof</i> (USGR, 2014). ....	12
Fig. 8 – Estufas tipo Parral (B. von Elsner [et al.], 2000). ....	12
Fig. 9 – Estufa túnel baixa (B. von Elsner [et al.], 2000).....	13
Fig. 10 – Estufas tipo túnel, com revestimento de filme plástico e os ventiladores laterais com rolo (B. von Elsner [et al.], 2000). ....	14
Fig. 11 – Estufas multi-túnel com arco redondo (à esquerda) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002) e gótico (à direita). O pormenor apresentado diz respeito à caleira habitualmente usada para ligar os túneis (B. von Elsner [et al.], 2000).....	14
Fig. 12 – Estufa solar típica da China (Bomford, M., 2010). ....	15
Fig. 13 – Representação gráfica da distância horizontal entre as bases dos pilares, em que $B_{gh}$ representa a largura da estufa, $bcb$ a distância entre as bases dos pilares na direção da largura da estufa, $L_{gh}$ o comprimento da estufa e $l_{cb}$ a distancia entre as bases dos pilares na direção do comprimento da estufa.....	19
Fig. 14 – Altura de referência, $Z_e$ , para estufas de classe A.....	25
Fig. 15 – Altura de referência, $Z_e$ , para estufas de classe B.....	25
Fig. 16 – Exemplo gráfico da definição de zonas das estufas, para a atribuição de coeficientes de pressão externa, para a direcção do vento (1) $0^\circ$ e (2) a $90^\circ$ em relação à estrutura, segundo a norma EN 13031-1. ....	27
Fig. 17 – Exemplo gráfico da definição de zonas das estufas arqueadas, para a atribuição de coeficientes de pressão locais, para a direcção do vento (1) $0^\circ$ em relação à estrutura, segundo a norma EN 13031-1. ....	27
Fig. 18 – Exemplo das ações resultantes no revestimento plástico, fruto do vento e pré-tensão, em que parte do filme encontra-se tracionado e a restante comprimido.....	30
Fig. 19 – Pórtico da estrutura da estufa E1.....	32
Fig. 20 – Pórtico da estrutura da estufa E2.....	32
Fig. 21 – Pórtico da estrutura da estufa E3.....	33

Fig. 22 – Pórtico da estrutura da estufa E4. ....	33
Fig. 23 – Danos estruturais observados na estrutura E1. ....	34
Fig. 24 – Danos estruturais observados, nas fundações (à esquerda) e no arco (à direita) da estrutura E2. ....	35
Fig. 25 – Danos na estrutura da estufa E3 (fotografia cedida pelo proprietário). ....	35
Fig. 26 – Danos ao nível do arco da estrutura da estufa E4. ....	36
Fig. 27 – Danos ao nível do revestimento da estrutura E5. ....	36
Fig. 28 – Parede contraventada da estufa a barlavento. ....	40
Fig. 29 – Ligação entre a caleira, pilar e arcos (à esquerda) e ligação K (à direita). ....	41
Fig. 30 – Pórticos utilizados pelas diferentes construtoras de estufas: modelo 1 (em cima à esquerda), modelo 2 (em cima à direita), modelo 3 (em baixo à esquerda) e modelo 4 (em baixo à direita). ....	48
Fig. 31 – Exemplo da ação das culturas. À esquerda estufa com plantação de tomates e à direita cabos de sustentação dos tomates. ....	54
Fig. 32 – Secção do arco onde se desenvolvem forças de sucção (em m). ....	55
Fig. 33 – Representação da ação do vento e pré-tensão no modelo estrutural. ....	56
Fig. 34 – Deformada do modelo M1, correspondente ao $\alpha_{cr}=2.771$ . ....	60
Fig. 35 – Deformada do modelo M2, correspondente ao $\alpha_{cr}=1.619$ . ....	60
Fig. 36 – Deformada do modelo M3, correspondente ao $\alpha_{cr}=1.735$ . ....	60
Fig. 37 – Deformada do modelo M4, correspondente ao $\alpha_{cr}=2.980$ . ....	61
Fig. 38 – Solução alternativa adotando um contraventamento inclinado. ....	63
Fig. 39 – Solução alternativa adotando uma treliça ao longo dos pilares. ....	63
Fig. 40 – Solução alternativa adotando uma treliça ao longo do arco. ....	64

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Estimativa da área de utilização de estufas, em ha, nas diferentes regiões do globo. ....	5
Quadro 2 – Características e problemas das estufas nos climas temperados.....	6
Quadro 3 – Características e problemas das estufas nos climas mediterrâneos.....	7
Quadro 4 – Tempo de vida mínimo de um projeto de estufa.....	18
Quadro 5 – Desvio máximo permitido, na horizontal, entre as bases dos pilares, em estufas de classe A. ....	19
Quadro 6 – Desvio máximo permitido, na horizontal, entre as bases dos pilares, em estufas de classe B. ....	20
Quadro 7 – Cargas resultantes das ações permanentes. ....	21
Quadro 8 – Valores mínimos das ações das culturas, em kN/m <sup>2</sup> .....	21
Quadro 9 – Valores característicos das cargas concentradas, em kN, tendo em conta o tipo de elementos estruturais. ....	22
Quadro 10 – Combinações de carga a usar em Portugal, segundo a norma EN 13031-1. ....	23
Quadro 11 – Coeficientes de combinação para Portugal, segundo a norma EN 13031-1.....	23
Quadro 12 – Fatores parciais correspondentes a Portugal, segundo a norma EN 13031-1.....	24
Quadro 13 – Período mínimo de referência da ação do vento e probabilidade anual de ultrapassar esta ação, segundo a norma EN 13031-1. ....	25
Quadro 14 – Exemplo dos coeficientes de pressão externa para uma estufa, segundo a norma EN 13031-1. ....	26
Quadro 15 – Exemplo de coeficientes de pressão locais, para uma estufa, segundo a norma EN 13031-1. ....	27
Quadro 16 – Coeficientes de pressão internos, para as estufas, segundo a norma EN 13031-1. ....	28
Quadro 17 – Requisitos do estado limite último dos arcos.....	29
Quadro 18 – Quadro síntese com as principais características geométricas das estufas. ....	39
Quadro 19 – Tempos de vida útil de estruturas metálicas de estufas.....	42
Quadro 20 – Tempos de vida útil para as estrutura mistas da estufa .....	42
Quadro 21 – Tempo de vida útil para cada tipo de material utilizado no revestimento das estufas, segundo a CA Seguros. ....	43
Quadro 22 – Valores de referência para a reconstrução de estufas, segundo a CA Seguradora. ....	44
Quadro 23 – Valores de referência para os diferentes tipos de revestimento, segundo a CA Seguradora.....	44
Quadro 24 – Dimensões das secções dos diferentes elementos estruturais, para cada modelo.....	47
Quadro 25 – Dados referentes a $z_0(m)$ , $z_{min}(m)$ , $K_r$ , $crz$ , $vmz$ (m/s). ....	50

Quadro 26 – Valores do coeficiente de exposição, $ce_z$ , pressão dinâmica de referencia, $q_p$ e pressão dinâmica de pico, $q_{pz}$ em função da altura $z$ . .....	51
Quadro 27 – Coeficientes de pressão externos referentes a uma estufa túnel, com paredes laterais. 52	
Quadro 28 – Coeficientes de pressão internos referentes a uma estufa túnel, com paredes laterais. 52	
Quadro 29 – Forças exteriores, $F_{w,e}$ e interiores, $F_{w,i}$ , obtidas no presente trabalho, tanto para o arco como para as paredes. ....	53
Quadro 30 – Ação do vento e da pré-tensão do plástico, assim como a resultante destas duas forças (kN), em função da zona do arco da estufa. ....	55
Quadro 31 – Ação do vento e da pré-tensão do plástico, assim como a resultante destas duas forças (kN), em função da zona do arco da estufa (ver Fig. 16). ....	55
Quadro 32 – Classificação da secção transversal, tensão de cedência ( $f_y$ em Mpa) e módulo de elasticidade ( $E$ em Mpa), em função dos diferentes elementos estruturais utilizados, nos 4 modelos. 58	
Quadro 33 – Valor de $F_{Ed}$ total (kN) de cada modelo e combinação de ação e a força horizontal aplicada. ....	58
Quadro 34 – Valores de $\alpha_{cr}$ para cada um dos modelos e combinações de ações. ....	59
Quadro 35 – Valores dos momentos atuantes ( $M_{Ed}$ ) e resistentes ( $M_{Rd}$ ). ....	61
Quadro 36 – Secções para os pilares, dos diferentes modelos, cumprindo $\alpha_{cr} < 3$ . ....	62
Quadro 37 – Consumo de aço por unidade de área, em função da secção e o acréscimo percentual em relação à secção original de cada modelo. ....	62

## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

$a$  – Afastamento entre os fios

$A_{ref}$  – Área de referência

CA - Caixa de Crédito Agrícola

$c_e(z)$  - Coeficiente de exposição

$c_d$  – Coeficiente dinâmico

$c_{dir}$  – Coeficiente de direção

$c_{pe}$  - Coeficientes de pressão externos

$c_{pi}$  - Coeficientes de pressão internos

$c_r(z)$  - Coeficiente de rugosidade

$c_s$  – Coeficiente de dimensão

$c_{season}$  – Coeficiente de sazão

DEC - Departamento de Engenharia Civil

EC – Eurocódigo

ELS – Estado limite de serviço

ELU – Estado limite último

$F_{fr}$  - Força de fricção exercida pelo vento

Fig. - Figura

$F_{w,e}$  – Força exterior exercida pelo vento

$F_{w,i}$  - Força interior exercida pelo vento

Horpozim - Horpozim – Associação dos Horticultores da Póvoa Varzim

$I_v(z)$  - Intensidade de turbulência do vento

$l_{wire}$  – Afastamento entre os apoios dos fios

$K_r$  – Coeficiente de terreno

$q_p(z)$  - Pressão dinâmica de pico

$q_p$  - Pressão dinâmica de referência

$u_{wire}$  – Deformada do fio carregado

$v_{b,0}$  - Valor básico da velocidade do vento

$v_m(z)$  - Vento médio em função da altura

$w_e$  - Pressões exercidas nas superfícies exteriores devidas ao vento

$w_i$  - Pressões exercidas nas superfícies interiores devidas ao vento

$z$  – Altura acima do solo

$z_e$  – Altura de referência para a pressão exterior

$z_i$  – Altura de referência para a pressão interior

$z_{min}$  – Altura mínima

$z_0$  – Comprimento da rugosidade

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem evoluído ao longo dos séculos a par da evolução do próprio ser humano. Inicialmente, o homem primitivo necessitava de procurar o seu alimento e deslocar-se de região para região à procura dos melhores frutos, raízes, plantas e caça. Com os primeiros passos na agricultura, o Homem pode fixar-se por períodos mais longos diminuindo a incerteza da colheita dos produtos e da caça. À medida que a agricultura foi evoluindo o Homem pode adaptar a cada região e a cada período do ano a melhor produção, armazenando os excedentes.

As práticas de cultivo protegido foram uma evolução muito importante na tendência de controlar as variáveis ambientais e de rentabilizar a produção agrícola. As origens da agricultura protegida, remontam ao ano 77 a.C., em que Tibério, Imperador Romano, desejava alimentar-se de pepinos ao longo de todo o ano. Este capricho levou os jardineiros a cultivar a espécie na *specularium*, cestas especiais com rodas que os permitia deslocar nos dias de sol e nos dias de Inverno retirar. As culturas, durante o período em que não era possível cultivar o pepino, eram cobertas com folhas transparentes de mica, denominado de *Lapis specularis*.

Na idade média, séc. XIII, as estufas eram construídas essencialmente para abrigar as plantas exóticas que eram trazidas por exploradores. No início as estufas eram associadas a pessoas abastadas e como o estudo da ciência das plantas era muito popular naquela época, rapidamente se associaram às Universidades.

A partir do séc. XVI, surgiram, em Itália, as estufas aquecidas chamados "stufe" e no séc. XVII, em França através do Rei Luís XIV, as denominadas "orangeries" que eram utilizadas para proteger as laranjeiras do gelo. Outras estruturas idênticas também foram utilizadas para os ananases, para os proteger do frio do Inverno.

Com a revolução industrial e a aplicação do aço na construção muitas foram as obras notáveis construídas. A Inglaterra procurava mostrar a sua superioridade na engenharia, organizando a Exposição Internacional da Indústria, do Comércio e das Artes e tendo como ex-libris o pavilhão de exposições, The Crystal Park (1851-1936). Este edifício originou outros modelos idênticos por todo o mundo, como no Porto (1865-1951), Madrid (1887), Petrópolis (1884) Curitiba. Para além destas as Palm House, UK (1840) e Estufas Reais de Laeken, Bruxelas (1895).



Fig. 1 – Estufas de vidro realizadas no séc. XIX. Estufas Reais de Laejen, em Bruxelas (em cima) (S/A, SD), Crystal Park em Londres (em baixo à esquerda) (Delamotte, P.H. and Zambra, N.a., 1854 ?) e no Porto (em baixo à direita) (Alberto, N.d.S., 1864).

A primeira aplicação do plástico ocorreu em 1948, quando o Prof. E.M. Emmert sem possibilidade para comprar uma estufa de vidro optou por revestir a estrutura de madeira com filme de acetato de celulose. Desde então, esta solução tem sido uma alternativa mais económica para os agricultores especialmente para zonas onde a aplicação do filme plástico não é uma limitação. Porém, associada à utilização de revestimento de plástico flexível está uma estrutura mais frágil, que por vezes não se encontram corretamente dimensionadas para resistir a intempéries.

Portugal apresenta, especialmente durante o Inverno, ventos fortes provenientes do Atlântico. A região de Entre o Douro e Minho tem sido particularmente fustigada por velocidades do vento superiores ao habitual, que influencia diretamente o comportamento da estrutura e o revestimento das estufas. Consequentemente os produtores, habitualmente sem seguros ou outras formas de proteção, têm de arcar com as despesas avolumadas.

O presente estudo pretende caracterizar a comunidade envolvente das estufas, tanto a nível dos agricultores e construtores de estufas, como das empresas de seguros. Para além disso, procurou-se perceber o enquadramento normativo do dimensionamento destas estruturas, nomeadamente se a norma europeia EN 13031-1 de dimensionamento e construção de estufas comerciais de produção é aplicada adequadamente em Portugal.

Deste modo, no Capítulo 2 – Estufas Agrícolas, é feito um enquadramento, através da revisão da literatura sobre o tema em estudo. Em primeiro lugar é realizada uma apresentação da agricultura protegida no mundo e de seguida a classificação das estufas em função do tipo de utilização, material estrutural e de revestimento. O Capítulo 3 – A norma EN 13031-1 inclui a caracterização da comunidade que envolve as estufas, isto é, aqueles que utilizam as estufas para proveito profissional, os agricultores e os construtores das estufas. Para além disso, procurou-se explicar o papel e ligação das empresas de seguros com os produtores. No Capítulo 4 procedeu-se à verificação de segurança de diferentes pórticos representativos das estruturas de estufas agrícolas, e apresentados pelas construtoras, tendo em conta as ações aplicadas na estrutura. No Capítulo 5 serão, por fim, apresentadas as conclusões do trabalho e os desenvolvimentos futuros.



# 2

## AS ESTUFAS AGRÍCOLAS

### 2.1. INTRODUÇÃO

As estufas são estruturas altamente sofisticadas, que protegem as culturas contra o vento, chuva, neve e granizo, assim como doenças ou temperaturas extremas. Estas estruturas têm como objetivo promover as condições ideais, para o crescimento das plantas e culturas ao longo dos anos, procurando otimizar a transmissão de radiação solar, humidade, temperatura e níveis de CO<sub>2</sub> em condições de ambiente controlado, para melhorar a produção intensiva de diversas culturas e cujas dimensões permitem o trabalho de pessoas no seu interior (Elsner, B.v. [et al.], 2000, J. Vázquez [et al.], 2011, Kendirli, B., 2006).

Se a produção de plantas de alta qualidade possuir sistemas ambientais controlados e uma relação de custo-benefício adequada, então o projeto da estrutura também deverá ser adaptado à cultura em causa (Giacomelli, G.A. and Roberts, W.J., 1993).

### 2.2. A AGRICULTURA PROTEGIDA NO MUNDO

A produção de horticultura protegida comercial surgiu no Norte da Europa nas primeiras décadas do século passado e teve um grande desenvolvimento após a Segunda Guerra Mundial. Com o uso de estufas de vidro aquecidas equipadas com sistemas de cultivo sofisticados, os produtores pretendiam ultrapassar os problemas do cultivo de espécies sensíveis ao frio, durante a maior parte do ano. Após a chegada do plástico nos anos 60, o cultivo em estufas começou a deslocar-se para regiões com Inverno ameno, tais como a Bacia Mediterrânea (Pardossi, A. [et al.], 2004). A par deste fator, a crise energética dos anos 70 foi um importante motivo para o seu desenvolvimento (Baille, A., 1997, Montero, J.L. [et al.], 2013). Posteriormente, a produção protegida expandiu-se para alguns países asiáticos (Pardossi, A. [et al.], 2004) e regiões onde a água para a agricultura é escassa, visto que o uso de estufas permite o uso da água de uma forma eficiente (Critten, D.L. and Bailey, B.J.).

O crescimento da horticultura protegida nas últimas décadas foi resultado de três fatores: i) a procura de produtos hortícolas de alta qualidade, por parte das populações, especialmente de produtos exóticos e de produtos fora de época, particularmente na Europa (Critten, D.L. and Bailey, B.J., 2002); ii) a melhoria das condições de transporte e do armazenamento dos produtos permitiu o cultivo à distância dos principais mercados e a comercialização dos produtos ao longo do ano; iii) a utilização de estufas pôde levar o desenvolvimento económico, de regiões secundárias com Invernos amenos, pois tornou o uso de muitos recursos, como a terra, água e mão-de-obra economicamente eficiente (Pardossi, A. [et al.]). Desta forma pode-se constatar que a latitude não é fator limitativo de usar o cultivo protegido, uma vez que ela só condiciona detalhes operacionais, tais como a ventilação em regiões de baixa

latitude com dias muito quentes e em zonas de alta latitude durante o Verão; ou os sistemas de isolamento usados durante o Inverno em latitudes altas, ou nas noites frias dos desertos (Critten, D.L. and Bailey, B.J.).

Devido ao elevado dinamismo e constantes alterações do sector torna-se complicado encontrar dados estatísticos fiáveis a nível mundial (Pardossi, A. [et al.]). Contudo, atualmente, a produção protegida supera os 450.000 ha, com um crescimento anual de 20%, desde 1980. Atualmente, a área coberta de estufas no continente Asiático corresponde a cerca de 66% da área coberta de estufas no mundo, distribuídas principalmente pela China (200.000 ha), Japão (60.000 ha) e Coreia do Sul (37.000 ha).

Na Europa o desenvolvimento da produção protegida localiza-se fundamentalmente nos países mediterrâneos, essencialmente junto à costa pelos seguintes aspectos: i) temperatura amena durante os meses frios, ii) grande período de exposição solar durante o ano e iii) clima estável devido à proximidade do mar, possibilitando condições muito favoráveis ao cultivo protegido. O mesmo acontece com os países da Costa do Norte de África, colocando a Bacia Mediterrânea, no segundo lugar mundial ao nível da área de ocupação de estufas. Espanha tem sido o país europeu a apresentar a maior superfície de estufas, destacando-se a região de Almeria que engloba 50% dos 66.000 ha do país (Hernández, J.C.L. and Parra., J.P., 2006) (Quadro 1).



Fig. 2 – Vista aérea da região de Almeria, no Sul de Espanha (Athus-Bertrand, Y., SD).



Fig. 3 – Área envolvida na produção protegida, da Bacia Mediterrânea (Pérez, J. [et al.], 2002).

Quadro 1 – Estimativa da área de utilização de estufas, em ha, nas diferentes regiões do globo.

Região	Estimativa da área de utilização de estufas (ha)
Ásia	443.000
Bacia do Mediterrâneo	105.000
América	19.600
Europa (excluindo os países da Bacia do Mediterrâneo)	42.500
África + Médio Oriente	17.000
Total	627.000

Ao contrário do sul da Europa onde predominam estufas revestidas com plástico, no Norte da Europa as estufas são revestidas com vidro, como resultado dos invernos rigorosos e com predominância de neve.

Portugal não é exceção, a área de horticultura tem vindo a aumentar. Em 2007 a área de horticultura protegida era de 2.196 h, ao passo que em 2011 o valor estimado era de 3.000 ha (Costa, J. [et al.]) representando 10% da área total e produção hortícola e cerca de 18% da sua produção (Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012).

Em Portugal, a horticultura protegida teve início na zona costeira do Algarve, tendo posteriormente expandido para Norte especialmente pela orla litoral, à imagem da maioria dos países do sul da Europa. O crescimento junto ao litoral beneficiou das temperaturas máximas mais baixas e ausência de geadas, assim como da proximidade aos maiores centros urbanos (Costa, J. [et al.]).

No Norte de Portugal na região de Entre o Douro e Minho, a utilização de estufas na horticultura e floricultura segue o crescimento nacional tendo-se verificado uma área de estufas de 229 ha em 1997, 386 ha em 2007 e é estimada uma área de 600 ha em 2013 (Costa, J.M. [et al.], 2010).

### 2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ESTUFAS

As estufas têm tido um grande desenvolvimento tecnológico nas últimas décadas. Diversos fatores têm condicionado a sua evolução, tais como as condições climáticas da região, questões económicas aspetos relacionados com as tradições locais e a necessidade de compatibilizar as estufas com as já existentes. No entanto, as características climáticas da região tem sido o principal fator que condiciona o tipo de estufa e o seu desenvolvimento (Elsner, B.v. [et al.], 2000, Max, J.F.J. [et al.], 2012).

Na Holanda, mais de 90% das estufas são revestidas com vidro. Já na Bacia Mediterrânea e na China, o plástico é o material mais utilizado (Max, J.F.J. [et al.], 2012). Na Coreia do Sul, pequenas unidades de estufas túneis são elevadas no campo para a produção de repolho chinês, e quando a época de produção está concluída, as estufas são removidas e armazenadas. Em Espanha, túneis altos cobrem grandes áreas e têm coberturas com planos inclinados, que permitem que a água da chuva seja escoada. Elas também têm duas camadas de plástico com uma rede fina entre eles e que corre entre os postes de metal ou madeira. Por sua vez, na Itália, estufas túneis ou multi-túneis cobrem muitos

hectares. A estrutura não é construída com tubos muito pesados, mas cumpre com os propósitos dos agricultores. Em regiões como a Tailândia, Filipinas, China e Indonésia, as estruturas possuem tubos revestidas primeiramente por uma rede e depois com filme de plástico no cimo. Esta técnica permite aos produtores elevar o plástico e através da rede criar ventilação. Estes túneis altos são usados para evitar as épocas das chuvas. Na Índia túneis altos construídos em estruturas de bambos robustos são cobertas com uma camada de filme de plástico no cimo e rede juta<sup>1</sup> nas laterais, que permitem eliminar os insetos e ventilar (Lamont, J. and William, J., 2009) (ver Fig. 4).



Fig. 4 – Estufa de bambu, na Índia (à esquerda) (Horticultural College and Research Institute, 2013) e estufa tipo Parral (à direita)(Invernaderos El Pilar S.C.L., 2009).

Assim sendo, o tipo de construção adotada para a estufa está relacionado com a escolha do material de revestimento, que por sua vez é uma consequência das condições climáticas da região (Max, J.F.J. [et al.], 2012) pois irá influenciar todos os fatores internos que permitirão potenciar o rendimento da produção. No Quadro 2 e 3 encontram-se as características e problemas das estufas dos climas temperados e mediterrâneos, respectivamente.

Quadro 2 – Características e problemas das estufas nos climas temperados.

Tipo de clima	Problemas nas estufas	Características das estufas
Climas temperados	Temperatura baixa no exterior nos períodos de Inverno	Estabilidade suficiente contra o vento e neve tendo em conta a norma
	Cargas significativas de vento, neve e granizo	Um eficiente sistema de aquecimentos
	Luz insuficiente no Inverno	Alta transparência da luz
	Verões ocasionalmente quentes	Efficiente isolamento contra perdas de calor quando existem temperaturas exteriores baixas
		No Verão, suficiente ventilação e sombreamento

<sup>1</sup> Jute é uma fibra têxtil vegetal que provém da família Tiliaceae.

Quadro 3 – Características e problemas das estufas nos climas mediterrâneos.

Tipo de clima	Problemas nas estufas	Características das estufas
Climas mediterrâneos	Durante o ano, entre um a três meses, as temperaturas à noite são abaixo das ótimas, sendo necessário o aquecimento	Alta transparência total de luz
	Altas temperaturas diurnas na Primavera e no Verão	Bom isolamento térmico, em especial nas estufas sem aquecimento
	Alta humidade no ar durante a noite	Equipamentos para aquecimento para aumentar a temperatura mínima noturna
	Baixa radiação global durante a noite	Ventilação eficiente realizada por ventiladores capazes de serem controlados
	Ventos significativos e por vezes neve e granizo inesperados	Alta estabilidade em relação ao vento e em algumas zonas à neve
	Pouca disponibilidade de água e em algumas zonas fraca qualidade da água	Coletores e tanques que recolhem a água da chuva para a rega
		Volume das estufas o maior possível
		Proteção dos insetos através de redes;
		Disponibilidade de sistemas de irrigação com poupança de água

O projeto da estufa influencia não só o comportamento estrutural, mas também os fatores climáticos internos tais como a temperatura, humidade e transmitância<sup>2</sup> de luz. Desta forma, o projeto de estufas deve seguir as regulamentações relacionadas com as condições climáticas locais. Dada a utilização de estufas por todo o Mundo é necessário que o material de revestimento e o equipamento satisfaçam os requisitos impostos pelas condições climáticas locais. Em regiões com baixa radiação solar, aumentar a transmitância de radiação solar total é uma importante tarefa de Engenharia. No entanto, em locais onde existam elevados níveis de radiação solar são necessários equipamentos para reduzir a intensidade de radiação solar e para prevenir o excesso de aquecimento das folhas das plantas. (Elsner, B.v. [et al.], 2000).

As estufas podem ser classificadas tendo em conta diversos aspetos, tais como, o tipo de utilização, tipo de material usado para a estrutura e para o revestimento, o número de túneis e o formato da cobertura. Walker e Duncan (1973) distinguem as estufas como: “*hobby*”, educacional, “*part-time*” ou comercial. As estufas “*hobby*” são pequenas unidades, onde uma variedade grande de produtos pode ser produzida. As características ambientais internas não são uma prioridade devido à variedade de culturas no seu interior. Às escolas ou estabelecimentos de ensino estão associadas, tal como o nome indica, as estufas educacionais. Normalmente são usadas construções permanentes e os revestimentos utilizados são de boa qualidade, com plástico rígido ou vidro duplo resistente, devido ao alto potencial

<sup>2</sup> Quantidade de energia, nomeadamente de luz, que atravessa um corpo sem sofrer absorção ou reflexão (Priberam, 2008).

de acidentes, quebras ou vandalismo. As estufas “*part-time*” são estruturas que são usadas em períodos do ano ou como suplemento de rendimento. Normalmente nestas estufas são usadas estruturas mais económicas e a utilização de equipamentos de controlo do ambiente pode ser usado dependendo do tipo de produção. As estufas de produção comercial estão associadas a empresas de produção anual, onde as atividades são permanentes e os planeamentos são a longo prazo. Os custos anuais são geralmente mais importantes que os custos iniciais, contudo se o capital inicial é limitado o tipo de estrutura escolhido pode ser condicionado.

B. von Elsner et al. (2000) classificaram as estufas quanto às suas características de construção (largura, simples ou múltipla, altura da parede lateral, secção do telhado e inclinação), tipo de revestimento (vidro, plástico rígido, filme plástico ou combinação de diferentes materiais) e materiais construtivos (aço, alumínio, madeira ou combinação de materiais)

### 2.3.1. MATERIAL DE REVESTIMENTO

As estufas fornecem as condições climáticas ótimas para o crescimento saudável das plantas e a sua produção intensiva. As propriedades físicas do material de revestimento também influenciam a qualidade do microclima interior, ao passo que as propriedades mecânicas influenciam o projeto estrutural e o comportamento mecânico da estufa. Por exemplo, estufas revestidas com vidro normalmente têm telhados inclinados, enquanto estufas revestidas com filme plástico podem ter telhados inclinados, “*shed roof*”, ou telhados arqueados (Elsner, B.v. [et al.], 2000). Por esta razão, os aspetos funcionais da estrutura das estufas influenciam não só a transmissão da radiação solar, conservação de energia e ventilação, mas também a forma como se realiza a condensação, ou o próprio comportamento do solo, o que irá impor requisitos de projeto nas estruturas de estufas (Elsner, B.v. [et al.], 2000, Giacomelli, G.A. and Roberts, W.J., 1993).

Historicamente o vidro foi o primeiro material utilizado como revestimento de estufas. O vidro é um excelente material quando os custos iniciais são tolerados pelo proprietário, porque possui uma vida útil de 25 anos ou mais e tem baixos requisitos de manutenção (Bucklin, R.A., 2013). Ao nível das características de produção propriamente ditas, a popularidade do material nos países frios é devida à elevada transmitância do vidro à luz, alta absorção de infravermelha, bom comportamento em relação à condensação na superfície e bloqueando a radiação térmica de baixa frequência. As principais desvantagens são ao nível da fragilidade, especialmente em caso de granizo, a insegurança para os trabalhadores nas estufas, a necessidade de uso de uma estrutura muito resistente, em que os elementos por vezes são de grandes dimensões criando bloqueios à luz, assim como a perda de luz devido à reflexão (B. von Elsner [et al.], 2000, Bucklin, R.A., 2013, Giacomelli, G.A. and Roberts, W.J., 1993, Waaijenberg, D., 2004). No entanto, para combater a insegurança têm sido introduzidos vidros temperados (Giacomelli, G.A. and Roberts, W.J., 1993, Waaijenberg, D., 2004), a resistência destes vidros é cinco vezes melhor e quando quebra, o vidro quebra em pequenas partes. Porém o uso deste tipo de vidro aumenta os custos do revestimento. Relativamente, à transmitância de luz, esta pode ser melhorada adicionando revestimentos antirreflexo ao vidro, o que aumenta gradualmente a transmissão do índice de refração entre o vidro e o ar (Waaijenberg, D., 2004).

As estufas de vidro são as estruturas mais usadas em regiões frias do hemisfério norte. Normalmente são construídas em grandes áreas para diminuir o custo por unidade de área (Antón, A. [et al.], 2014). No sul da Europa o número de estufas de vidro é baixo essencialmente devido ao custo de investimento (Montero, J.L. [et al.], 2013).

Nos últimos anos, as folhas e filmes sintéticos têm substituído o vidro como revestimento da maioria das estufas. Em muitos países, especialmente, naqueles que possuem climas quentes, os revestimentos com plásticos são muito utilizados. O primeiro filme foi desenvolvido como revestimento para estruturas de madeira simples, também elas usadas como auxílio na agricultura (B. von Elsner [et al.], 2000).

Este material é de baixo custo, leve e de fácil aplicação, porque pode ser ajustado facilmente em qualquer estrutura de estufa e pode oferecer boas propriedades funcionais tais como alta transmitância de radiação solar e bom isolamento (B. von Elsner [et al.], 2000, Briassoulis, D. [et al.], 1997b, Bucklin, R.A., 2013). Por outro lado, estão associados a uma muito curta longevidade do material obrigando a substituições frequentes e uma manutenção trabalhosa. Para além disso, quando os filmes não são bem esticados e presos à estrutura podem criar vibrações que poderão desencadear graves problemas estruturais (B. von Elsner [et al.], 2000). Uma desvantagem ambiental centra-se na dificuldade de reciclar o plástico comparativamente com o vidro (Bucklin, R.A., 2013, Waaijenberg, D., 2004).

A utilização de plástico pode ser feita através de placas rígidas ou rolos de plástico com espessuras muito finas, sendo as primeiras uma boa alternativa ao vidro, sempre que possível. Pode ser utilizado ainda com folha simples ou folha dupla, tendo esta última a vantagem da economia de energia, comparativamente com os materiais usados isoladamente (Waaijenberg, D., 2004).

### 2.3.2. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

As estruturas de estufas podem ser construídas com diferentes materiais e estes podem ter no mercado diferentes formas. São preferencialmente construídas a partir de materiais baratos e facilmente disponíveis. Madeira, bambu e aço são os mais adequados para a construção de estufas em filme plástico. As estruturas para estufas de vidro ou plástico rígido são normalmente de alumínio ou aço (B. von Elsner [et al.], 2000, Bucklin, R.A., 2013). O material de revestimento e as propriedades de isolamento do sistema de aquecimento devem ser escolhidos para se ajustarem às necessidades de aquecimento durante os períodos frios de Inverno. Já nas condições quentes de Verão, as estufas requerem sistemas de arrefecimento e grandes aberturas para ventilação (Elsner, B.v. [et al.], 2000).

As estruturas de alumínio são de longa duração, resistem à corrosão, são leves e podem ser pré-fabricados. Os custos de manutenção são baixos, porém têm um custo inicial elevado e necessitam dos serviços de pessoal especializado durante a construção (Bucklin, R.A., 2013).

O aço oferece alta resistência e longevidade com baixos custos iniciais, comparativamente com o alumínio, embora os custos de manutenção da estrutura em aço possam ser maiores. Outra vantagem é a alta resistência do aço, que torna possível a utilização de elementos estruturais com secções mais pequenas, minimizando o sombreamento provocado pela estrutura (Bucklin, R.A., 2013). Contudo este material necessita de ser protegido contra a corrosão. Hoje em dia, a proteção do aço é feita através da galvanização com zinco, contudo o zinco pode ser drenado para a água da irrigação causando problemas ambientais ao contrário do alumínio que não necessita de proteção anticorrosiva (B. von Elsner [et al.], 2000).

Uma desvantagem que é comum tanto ao aço como ao alumínio é o facto de em ambos a perda ou ganho de calor por meio da estrutura pode ser significativa.

As estruturas de madeira por vezes são uma escolha acertada, especialmente quando esta matéria-prima é muito barata, e os custos iniciais permitem suplantarem os custos elevados ao nível da manutenção. Porém necessitam de muitos tratamentos para resistir à deterioração, assim como o risco

de incêndio (Bucklin, R.A., 2013). Para além disso, a madeira pode inchar ou encolher devido à humidade, o que pode interferir com a qualidade estrutural (B. von Elsner [et al.], 2000).

Por sua vez, o bambu é usado em algumas zonas do globo como material preferencial para construir as estufas. Uma das principais dificuldades surge com a dificuldade de normalizar o material como se faz com o aço, porém a forma e a secção são características muito próprias de cada tronco de bambu (Ubolsook, P. and Thepa, S., 2011). Apesar de ser um material barato, ele requer muita manutenção, especialmente no que concerne à fixação dos filmes de plástico (Hemming, S. [et al.], 2004).

As fundações nas estufas são normalmente elementos simples construídos em betão armado (B. von Elsner [et al.], 2000).

### 2.3.3. FORMA DA ESTUFA

De uma forma geral as estufas podem ser analisada tendo em conta as suas dimensões. Uma estufa com volume muito elevado resulta numa resposta lenta do ambiente interior às condições ambientais externas (Kumar, K.S. [et al.], 2009). No entanto, quanto mais altas são as estufas, menores são as flutuações no seu microclima interior, o que resulta num aumento de consumos de energia sempre que é necessário realizar mudanças dos parâmetros interiores. As estufas altas são também mais exigentes em termos de estabilidade estrutural devido às maiores cargas de vento.

Como foi referido anteriormente a estrutura das estufas é condicionada pelo revestimento utilizado e pelas condições climatéricas da região. As estufas usadas no Norte da Europa são de vidro e com elevado grau de automatização e controlo com o objetivo de otimizar a produção e qualidade dos cultivos. Por sua vez, nos países do Sul da Europa, as estufas são de baixo custo com revestimento de plástico, que proporcionam o controlo climático mínimo e permitem à planta o seu crescimento, atingindo um cultivo economicamente rentável (Muñoz, P. [et al.]).

As estufas revestidas com vidro ou plástico rígido são normalmente construídas com coberturas a duas águas e existem duas formas diferentes de construção deste tipo: estufas Venlo ou estufas com grande vão.

As estufas Venlo são originárias da Holanda e é a estufa de vidro mais usada a nível mundial. Este tipo de estufas encontra-se normalizada para diferentes tamanhos, o que permite que a sua construção e manutenção se tornem mais económicas (B. von Elsner [et al.], 2000). Para além disso, por serem estruturas modulares existe uma grande variedade de equipamentos que permite que se adaptem a este tipo de estufas (Bouzo, C.A. [et al.], 2009). As estufas têm paredes laterais retas e um telhado de duas águas. A estrutura é geralmente metálica, em aço ou em alumínio, e o material de revestimento é o vidro. Os elementos de aço incluem vigas, madres, cintas de estabilização, pilares, vigas de fixação, reforços de fundações, mecanismos de abertura de ventilação e um sistema de fios para suportar colheitas. As sarjetas, cumeeiras, barras, mecanismos de abertura da ventilação poderão ser feitos com alumínio. O betão é usado para realizar as fundações e os trilhos existentes dentro das estufas (Antón, A. [et al.], 2014). Estas estufas não possuem aberturas laterais, o que se deverá certamente à ausência de necessidade de ventilação, na Holanda. Em vez disso possuem aberturas zenitais que permitem efectuar a ventilação. As aberturas existem alternadamente na cobertura e têm 1.5 m de comprimento e 0.8 m de largura.

As principais vantagens deste tipo de estufas resultam do bom comportamento técnico e controlo elevado sobre as condições ambientais. Por outro lado, o número elevado de elementos estruturais e o tipo de material de revestimento afetam a transmitância de luz (Bouzo, C.A. [et al.], 2009) (ver Fig. 5).



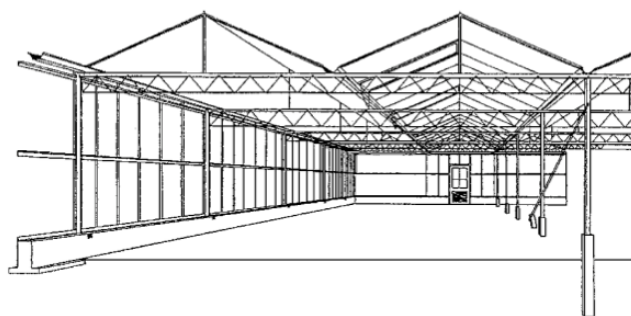


Fig. 5 – Estufa tipo Venlo, revestida com vidro (B. von Elsner [et al.], 2000).

As estufas de grande vão possuem vãos que variam entre 20 e mais de 100 m de comprimento (B. von Elsner [et al.]). Podem ser realizadas com estruturas de alumínio, aço ou madeira e o revestimento poderá ser feito tanto em plástico rígido ou flexível, como em vidro, sendo esta variabilidade de escolha uma vantagem importante. O elevado número de elementos estruturais condiciona a transmitância de luz devido ao aumento de sombreamento, especialmente quando se usa vidro. Além disso os elementos de suporte internos dificultam a colocação estratégica das culturas e a movimentação no seu interior (Bouzo, C.A. [et al.], 2009, University of Kentucky, 2011).

As estufas são equipadas com ventiladores contínuos na cumeeira e quando necessário também possuem nas paredes laterais (B. von Elsner [et al.]). Tal como nas estufas Venlo, este tipo de estufas poderá ser construída com múltiplos módulos. No entanto, sempre que se opte por esta solução as estufas devem possuir uma caleira que permita a ligação entre os módulos (University of Kentucky, 2011) (ver Fig. 6).

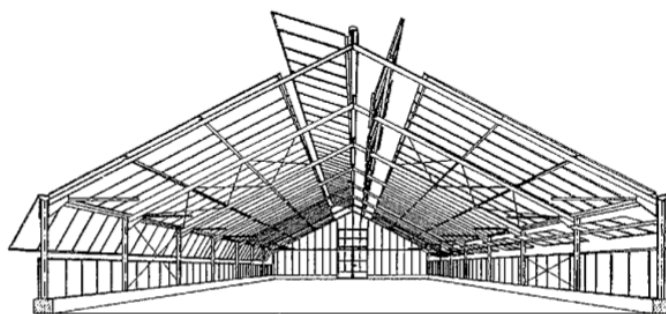


Fig. 6 – Estufa de grande vão, onde se podem observar os diferentes tipos de ventiladores (B. von Elsner [et al.], 2000).

Por vezes surgem modificações a estes tipos de estufas, como é o caso das estufas com cobertura *shedroof* (ver Fig. 7). Neste tipo de estufas a inclinação das coberturas a duas águas é variável tornando uma das faces do telhado mais exposta à radiação solar, melhorando a eficácia da luminosidade, particularmente no Inverno. Para além disso, a inclinação do telhado pode ser regulada de forma a ajustar nas alturas do ano em que a altitude solar é baixa. Devido aos custos relativamente elevados associados à construção do telhado, o projeto deste tipo de cobertura ainda não tem tido muita aceitação no meio agrícola (Max, J.F.J. [et al.], 2012).

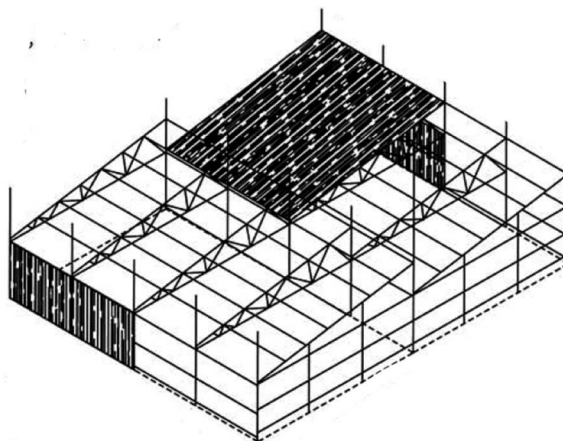


Fig. 7 – Estufa multi-túnel com cobertura *shedroof* (USGR, 2014).

As estufas revestidas com material plástico flexível podem incluir diferentes formas das coberturas (Montero, J.L. [et al.], 2013). Embora as estufas revestidas por plástico tenham passado por várias fases de desenvolvimento, resultando em melhorias importantes, continuam ainda a apresentarem-se mais económicas que as estufas de vidro ou plástico rígido.

As estufas Parral surgiram na Província de Almeria e são estruturas simples e económicas. Inicialmente estas estufas utilizavam madeira e fios, chamando-se Parral por serem uma versão modificada das estruturas usadas nas videiras para uvas de mesa. Na versão contemporânea, estas são construídas com aço galvanizados em substituição da madeira (Bouzo, C.A. [et al.], 2009). Os pilares podem ser localizados em torno do perímetro ou no interior da estufa, com fundações que consistem em sapatas de betão suportando a estrutura (Antón, A. [et al.], 2014).

Estas estufas têm uma altura que varia entre 2 e 3.5 m e a inclinação da cobertura é quase inexistente. Com a inclinação quase nula a condensação não é drenada o que faz com que as gotas caiam nas culturas. Este problema pode ser solucionado colocando uma segunda camada de filmes ou rede por baixo da primeira. Porém, esta dupla camada vai originar uma diminuição da transmitância de luz. Em regiões com alguma precipitação e para que a chuva não se acumule e provoque danos na cobertura, aumenta-se a inclinação até 10 ou 15°. Outro problema que por vezes surge neste tipo de estufa são as forças de sucção, devido ao vento, que danificam o material. A solução é atravessar na camada exterior um conjunto de fios de metal (Bouzo, C.A. [et al.], 2009).

A ventilação em estufas Parral é natural e realizada lateralmente e todas as aberturas são cobertas com telas à prova de insetos (Antón, A. [et al.], 2014).

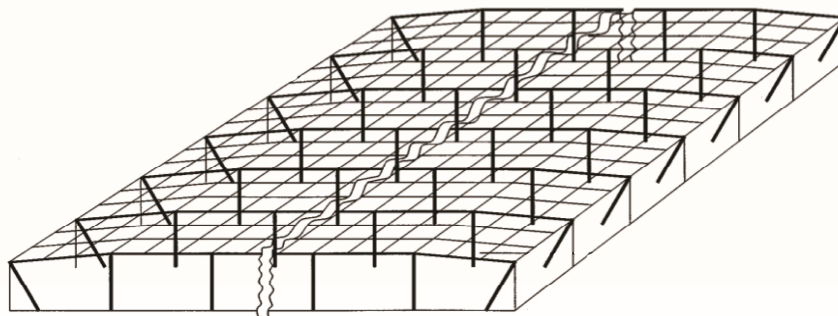


Fig. 8 – Estufas tipo Parral (B. von Elsner [et al.], 2000).

As estufas túneis baixas são também chamadas de estufas miniaturas. Consistem em estruturas semicilíndricas, afastadas entre 2 a 3 metros e podem ser de madeira, bambu ou aço e revestidas com filme plástico (B. von Elsner [et al.], 2000). Elas são frequentemente usadas em conjunto com um filme plástico preto (acolchoado) que é colocado sobre o solo e realizando a irrigação por gotas. Por sua vez, o telhado curvo fornece melhor propagação da luz no interior da estufa (Iribarne, L. [et al.], 2007).

Este tipo de estufas são usadas para proteger a cultura contra o vento, temperaturas baixas, chuva, granizo, aves e insetos. Poderão ter um carácter temporário, podem ser construídas durante um período de cultivo e removidas se necessário (B. von Elsner [et al.], 2000, University of Kentucky, 2011).

As principais vantagens das estufas túneis baixas são o seu reduzido custo inicial e simplicidade na construção. Por outro lado, verifica-se que neste tipo de estufa podem ser atingidas temperaturas elevadas, sendo que uma das soluções poderá passar por criar algumas fendas ou aberturas que facilitem a ventilação (University of Kentucky, 2011).

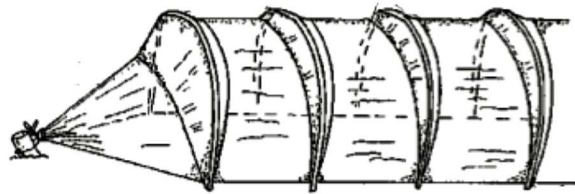


Fig. 9 – Estufa túnel baixa (B. von Elsner [et al.], 2000).

Tal como as estufas túneis baixas, as estufas túneis são usadas para antecipar o período de crescimento na Primavera e prolongar o cultivo no Outono, podendo também ser usadas para a produção de diversas culturas de estação fria, durante o Inverno (University of Kentucky, 2011). As estufas túneis apresentam dimensões superiores às estufas apresentadas anteriormente, como tal, o espaçamento entre arcos diminui para 2 m nas extremidades e 2,5m nos arcos intermédios. Para além disso, no sentido longitudinal são usados tubos adicionais que funcionam como uma madre, que permitem estabilizar a estrutura (Antón, A. [et al.], 2014).

As estufas túneis são estruturas não aquecidas que permitem criar temperaturas moderadas, proporcionando o aquecimento tanto do solo como do ar e proteger essencialmente, as plantas do vento, granizo e neve. Um problema estrutural importante nas estruturas em arco é a área central do arco, que é horizontal. A água resultante da condensação não pode ser drenada e cai em cima da cultura, originando problemas fitossanitários e redução de transmissão de luz. Uma alternativa será usar um arco gótico, porque este tipo de arco proporciona uma inclinação mínima na parte central, fazendo com que a água seja escoada para as laterais. Para além disso, estes arcos também facilitam o deslize da neve, quando aplicado em regiões com Invernos com temperaturas mais baixas. Porém a resistência mecânica do arco gótico é menor do que num arco perfeito, devido à descontinuidade da curvatura, o que é uma desvantagem importante em zona ventosas (Max, J.F.J. [et al.], 2012, Zabeltitz, C.v., 1990).

A ventilação das estufas túnel é realizada essencialmente pelas paredes laterais através de ventiladores de enrolar (B. von Elsner [et al.], 2000).

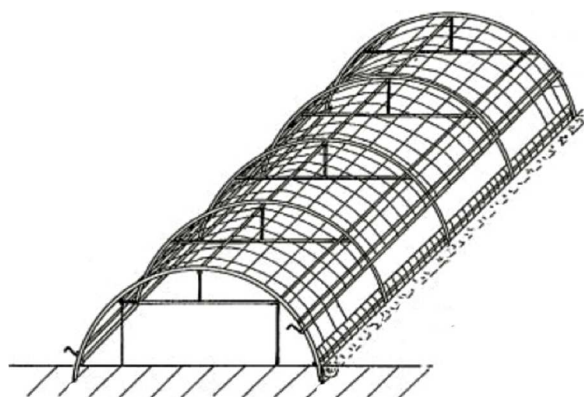


Fig. 10 – Estufas tipo túnel, com revestimento de filme plástico e os ventiladores laterais com rolo (B. von Elsner [et al.], 2000).

Uma derivação da estufa túnel envolveu a introdução de pilares que permitiram que o volume da estufa aumentasse, podendo ser usadas também como multi-túneis ocupando grandes extensões (Fig. 11). A estrutura das estufas túnel com pilares retos é feita com aço galvanizado e varia entre 6 e 10 m de largura, sendo que os pilares exteriores possuem afastamentos de 2.5 m e os interiores de 5 m (Antón, A. [et al.], 2014). As fundações consistem em sapatas de betão. A forma da cobertura também pode ser um arco redondo ou arco gótico, possuindo as vantagens e desvantagens referidas anteriormente (B. von Elsner [et al.], 2000, Max, J.F.J. [et al.], 2012). Este tipo de estufa é muito usado no sul da Europa. Por esta razão estão habitualmente equipadas com grandes ventiladores. A ventilação é feita nas paredes laterais através de sistemas de rolos e nas coberturas, com ventilações denominadas zenitais. Na conceção dos ventiladores laterais deve existir especial preocupação, para que o plástico se encontre esticado de modo a evitar que em caso de vento o plástico fique agitado, aumentando as tensões no revestimento e na estrutura. Para além disso, deve existir um mecanismo de funcionamento automático que feche os ventiladores sempre que necessário (B. von Elsner [et al.], 2000).

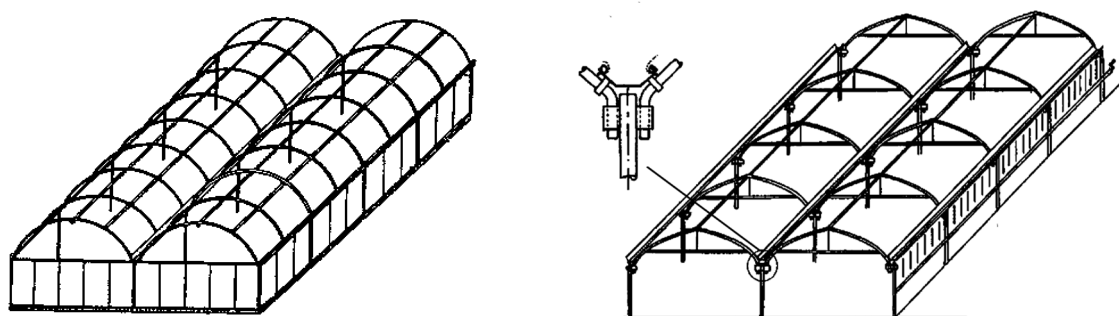


Fig. 11 – Estufas multi-túnel com arco redondo (à esquerda) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002) e gótico (à direita). O pormenor apresentado diz respeito à caleira habitualmente usada para ligar os túneis (B. von Elsner [et al.], 2000).

Na China foi desenvolvida a estufa solar, que foi amplamente difundida naquela região. É considerada uma estufa de energia zero, porque durante o dia armazena energia através da radiação solar, que é usada durante a noite para aquecer a estufa. Para o armazenamento do calor é construído a norte uma

parede de argila, betão ou tijolo adobinho, enquanto na face sul, por sua vez, fica exposta à radiação solar. Quando as temperaturas são baixas, por vezes a cobertura é revestida por tapetes, para permitir um bom isolamento e manter as temperaturas interiores (Max, J.F.J. [et al.], 2012).

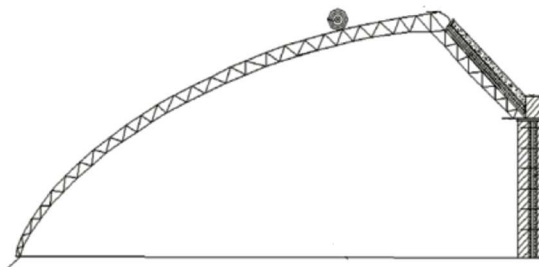


Fig. 12 – Estufa solar típica da China (Bomford, M., 2010).

As estufas têm tido desenvolvimentos consideráveis de forma a obter o melhor rendimento das culturas sem obter gastos elevados a nível energéticos. Atualmente, estufas de grandes dimensões possuem sistemas de aquecimento, ventilação mecânica, luz artificial e irrigação que pode ser também ser utilizada para distribuir fertilizantes líquidos. A par destes equipamentos existem outros que permitem monitorizar não só o ambiente interno, como o externo (University of Kentucky, 2011).

## 2.4. DANOS NAS ESTRUTURAS

Muitos sistemas de construção estão a ser utilizados com sucesso em estufas. Alguns têm vantagens sobre os outros em aplicações específicas, mas não há uma solução que se considere melhor do que a outra. O projeto estrutural de uma estufa deve fornecer proteção contra diversos condicionantes ambientais e ter em conta cargas suplementares que possam surgir.

Os danos mais frequentes são devidos a ventos e nevões fortes, e ocorrem quando as componentes estruturais não são projetadas para suportar tais cargas. A fim de satisfazer uma margem suficiente de segurança e para evitar danos graves, a estrutura da estufa deve ser concebida de acordo com as normas aplicáveis a cada país, que orientam para o cálculo das diversas cargas de projeto (Elsner, B.v. [et al.], 2000). Ao mesmo tempo, os elementos estruturais de uma estufa devem ter a menor dimensão, de forma a permitir a transmissão de luz para a cultura e serem mais económicos. Em estufas revestidas com plástico o vento é o principal responsável pelos danos nas estruturas e domina o projeto dessas estruturas (Yang, Z.Q. [et al.], 2013). Por essa razão, estimar as cargas relativas ao vento é essencial para um ótimo dimensionamento das estruturas das estufas (Mistriotis, A. and Briassoulis, D., 2002).

O vento, como resultado da velocidade média e das turbulências, gera pressões variadas na cobertura das estufas e tensões correspondentes na estrutura e fundações, que pode causar danos no caso das velocidades do vento serem muito elevadas (Critten, D.L. and Bailey, B.J., 2002). Por outro lado, ventos moderados estimulam a ventilação natural, que é necessária para o controlo climatérico ótimo do interior (Elsner, B.v. [et al.], 2000).

Os danos podem tornar-se mais críticos se uma das aberturas do lado do barlavento do edifício for deixada aberta durante o período de ventos fortes. Se tal acontecer, uma pressão positiva desenvolve-se no interior da estufa de modo que não só existe uma força de sucção a aumentar devido ao efeito

aerodinâmico, mas também há uma pressão no exterior atuando na mesma direção. Estas duas combinações de forças, quando ocorrem são geralmente maiores do que a força potencial do vento total (Walker, J.N. and Duncan., G.A., 1973).

Em Espanha, assim como na Holanda, os ventos são o fator mais importante a ter em conta, porque as tempestades são as maiores causadoras de danos nas estufas (Elsner, B.v. [et al.], 2000, Lamont, J. and William, J., 2009). B. von Elsner et al (Elsner, B.v. [et al.], 2000) referiram que os danos em estufas, instalações e culturas entre Janeiro e Fevereiro de 1990, devido a duas tempestades, causaram um total de despesas de 200 milhões de florins (cerca de 98 milhões de euros - valores correspondentes a 1990).

A queda de neve influencia também a estabilidade da estrutura, o comportamento mecânico do revestimento, assim como os requisitos do aquecimento da estufa. O granizo é outra causa comum de danos no revestimento da estrutura. A água resultante da chuva, neve ou granizo deve ser drenada e recolhida para evitar inundações do solo da estufa. A água não deve permanecer na cobertura, porque em caso de temperaturas muito baixas pode congelar, destruindo as componentes, tais como os painéis de vidro nas estufas de vidro, devido ao aumento de volume. Para além disso, a inclinação da cobertura tem de ser escolhida tendo em conta os níveis de chuva e de queda de neve. Por outro lado, a chuva pode fornecer grande qualidade de água de irrigação se as caleiras das estufas foram corretamente projetadas para transportar a água para tanques de armazenamento.

A radiação solar intensa pode causar degradação de importantes propriedades funcionais e estruturais do plástico, devido ao contacto com elementos metálicos quentes da estrutura e agentes ultravioletas. Por outro lado, a radiação solar é a principal fonte da energia de fotossíntese para a produção e crescimento das plantas, por isso, a variação da radiação solar ao longo do ano é um importante fator climático que influencia a produtividade da estufa. Além disso, a transmitância da radiação solar das estufas deve ser otimizada em relação às necessidades das culturas e condições climáticas locais.

# 3

## A NORMA EN 13031-1

### 3.1. INTRODUÇÃO

No início da década de 90 foi formado um comité técnico de normalização europeia, CEN/TC 284, que tinha como intuito elaborar a norma EN 13031-1. A norma pretendia uniformizar o dimensionamento e construção de estufas comerciais de produção, no domínio da horticultura, considerando que a ocupação humana é restrita ao uso profissional. Ela foi formulada para satisfazer a função principal da União Europeia que permite o livre-comércio de bens, através das fronteiras dos Estados membros e substituindo os regulamentos existentes dos diversos países.

Após um período experimental e depois da norma europeia ter sido aceite em todos os países da União Europeia, seria previsto que se tornasse lei, contudo ainda não se verifica nos dias de hoje. Apesar disso, é uma norma utilizada por muitos projetistas de estufas, especialmente quando se tem de ter em conta as diferenças climáticas na Europa (Waaijenbergh, D., 2004).

A norma EN 13031-1 foi baseada nos princípios do Eurocódigo 1 - Bases do projeto e ações em estruturas, no que diz respeito aos princípios e requisitos de estabilidade e resistência mecânica, manutenção e considerações de durabilidade. Relativamente ao projeto estrutural são considerados de uma forma análoga os Eurocódigos 2-9 (Budd, C., 1997). A norma tem como objetivo ser um suporte para os Eurocódigos (ECs) no que respeita ao dimensionamento das estufas (Mistriotis, A. and Briassoulis, D., 2002). Desta forma, para um correto dimensionamento, as características da região, em especial o clima, devem ser sempre estudadas e a estufa deve ser adaptada a estas circunstâncias, tal como o vento, neve, temperatura, radiação solar, chuva, etc. A orientação da estufa e a inclinação do telhado são dois fatores que influenciam a quantidade de luz, sendo o primeiro aquele que tem maior influencia (Waaijenbergh, D., 2004).

A norma veio colmatar algumas falhas inerentes às características das estufas, como por exemplo, os ventiladores. Estes possuem configurações muito específicas que podem ser influenciadas positiva ou negativamente, consoante a ação do vento na estrutura. Esta influência pode ser crítica para estabilidade da estrutura não só em situações extremas, mas também em certas combinações de ações (Mistriotis, A. and Briassoulis, D., 2002).

De acordo com a norma, entende-se por estufa a estrutura usada para o cultivo e/ou proteção de plantas, que favorece a transmissão de radiação solar, sob condições controladas, a fim de melhorar o ambiente de desenvolvimento das plantas, apresentando dimensões tais que permite que as pessoas trabalhem no seu interior.

### 3.2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O projeto das estufas é realizado para que se possa verificar que qualquer estado limite não é excedido. O estado limite considerado para cada carregamento é determinado com base na classificação da estrutura da estufa. Por sua vez, a classificação da estrutura da estufa é feita tendo em conta a sua vida útil (5, 10 ou 15 anos) e da tolerância do sistema aos deslocamentos da cobertura. Em função da tolerância aos deslocamentos distinguem-se dois tipos de estufas. As estufas de Classe A são aquelas em que o sistema de revestimento não tolera os deslocamentos da estrutura, submetidas às ações de projeto. As estufas deste tipo devem ser concebidas considerando o estado limite de utilização (ELS), bem como o estado limite último (ELU). Por outro lado, estufas em que o sistema de revestimento tolera os deslocamentos da estrutura resultantes das ações definidas em projeto, podem ser designadas como estufas de Classe B. Para estas classes de estufas consideram-se apenas o ELU.

Os ELU é o estado limite associado ao colapso da estrutura e que se não for verificado o seu cumprimento coloca em risco a vida humana e que pode exigir considerações que incluam:

- A perda de equilíbrio da estrutura ou parte dela, considerando-a como um corpo rígido.
- Perda da capacidade de carga, devido, por exemplo: rotura, instabilidade, fadiga ou outro estado limite aprovado, tais como tensões e deformações indevidas.

O ELS, por sua vez, corresponde a estados para além do qual, deixa de cumprir os critérios de serviço especificados no projeto. Estes incluem:

- Flechas e deformações que podem afetar a aparência ou o uso real da estrutura (incluindo o mau funcionamento de máquinas ou serviços) ou podem causar danos para os elementos de terminação ou não estruturais.
- Vibrações que podem causar desconforto às pessoas, danos à estrutura ou ao seu conteúdo ou que limite a sua eficiência funcional.

#### 3.1.1. TEMPO DE VIDA MÍNIMO

Ao contrário do EC 1 que recomenda um tempo de vida útil dos edifícios de 50 anos, esta norma recomenda 5, 10 e 15 anos dependendo da classe da estufa. De acordo com o tipo de estufa e a vida útil da estrutura a norma considera um total de 5 classes de estufas.

Quadro 4 – Tempo de vida mínimo de um projeto de estufa.

Classificação	Tempo de vida mínimo de projeto		
	15 anos	10 anos	5 anos
Classe A	A15	A10	-
Classe B	B15	B10	B5

#### 3.1.2. CONDIÇÕES

As condições de validade dos métodos de cálculo são definidas por um conjunto de critérios de durabilidade, tolerâncias, manutenção e reparação.



### 3.1.2.1. DURABILIDADE

As estruturas de estufas devem ser protegidas contra a corrosão e deterioração de tal forma que a segurança estrutural seja mantida para um período de vida que não seja inferior ao definido.

### 3.1.2.2. TOLERÂNCIA

As tolerâncias variam dependendo da classe da estufa em estudo. Nas estufas de classe A, quando considerados os estados de limites de serviço e fatores de segurança é importante ter em especial atenção o revestimento dos painéis de vidro, sendo estes últimos fatores muito importantes.

Quadro 5 – Desvio máximo permitido, na horizontal, entre as bases dos pilares, em estufas de classe A.

Desvio máximo permitido na horizontal entre as bases dos pilares	
Medida	Desvio máximo
Distância entre as bases dos pilares entre o comprimento e largura	15 mm
Comprimento total da estufa $L_{gh}$	Valor mais elevado entre $L_{gh}/3000$ ou 30 mm
Largura total da estufa $B_{gh}$	Valor mais elevado entre $B_{gh}/3000$ ou 30 mm

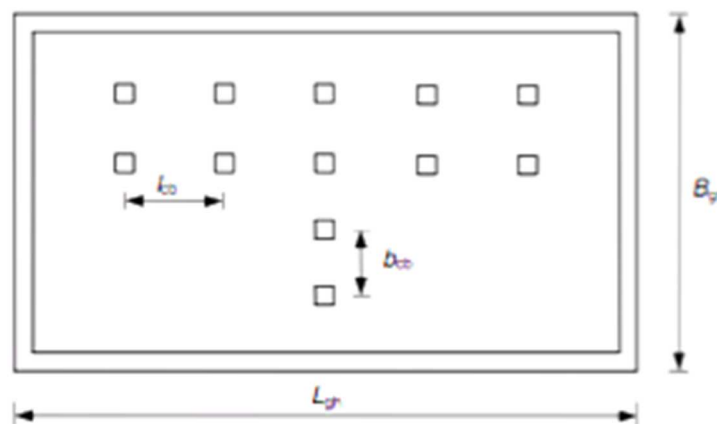


Fig. 13 – Representação gráfica da distância horizontal entre as bases dos pilares, em que  $B_{gh}$  representa a largura da estufa,  $b_{cb}$  a distância entre as bases dos pilares na direção da largura da estufa,  $L_{gh}$  o comprimento da estufa e  $l_{cb}$  a distância entre as bases dos pilares na direção do comprimento da estufa.

Os requisitos de tolerância para estruturas multi-túneis de classe B são limitados pelas fundações, localizações, comprimento, largura e inclinação do arco, sendo estes os únicos parâmetros importantes que podem afetar significativamente a integridade da estrutura.

Quadro 6 – Desvio máximo permitido, na horizontal, entre as bases dos pilares, em estufas de classe B.

Desvio máximo permitido na horizontal entre as bases dos pilares	
Medida	Desvio máximo (mm)
Distância entre as bases dos pilares entre o comprimento e largura	30
Comprimento total da estufa $L_{gh}$	Valor mais elevado entre $L_{gh}/1500$ ou 60
Largura total da estufa $B_{gh}$	Valor mais elevado entre $B_{gh}/1500$ ou 60

Os desvios e deslocamentos da carga das estufas multi-túneis podem ser considerados e são aceitáveis, desde que o estado limite último de qualquer dos componentes não seja atingido quando submetido às ações definidas na norma.

### 3.1.2.3. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO

A norma reconhece os perigos inerentes à manutenção e reparação das coberturas das estruturas de estufa. Os requisitos são especificados para evitar cargas concentradas sobre o revestimento e, sempre que possível os sistemas devem ser concebidos para evitar a necessidade do acesso humano à cobertura. Os fabricantes devem fornecer um manual, onde de uma forma detalhada sejam referidas as especificidades das estufas, incluindo as cargas em serviço e manutenção utilizadas no dimensionamento das estufas (Anexo G).

## 3.2. AÇÕES EM ESTRUTURAS DE ESTUFAS

A ação das forças atuantes nas estufas são definidas na norma como um conjunto de cargas ou combinações de cargas causadas por fatores internos ou externos. Muitas ações são idênticas ou semelhantes às forças atuantes nas normas para edifícios correntes e estão contidos no âmbito do EC 1, contudo certas forças e cargas são definidas como sendo específicas de estruturas de estufas. A norma especifica as possibilidades de combinações de cargas, que podem apresentar-se simultaneamente e que devem ser consideradas no dimensionamento. As principais cargas são: cargas permanentes, vento, neve, de instalações permanentes, de instalações temporais, de cultivo e cargas verticais concentradas. A norma contempla outras cargas que devem ser consideradas no cálculo das ações tais como as cargas sísmicas e térmicas, que não serão abordadas por não afetarem os cálculos em Portugal.

As ações permanentes ( $G_{kl}$ ) são resultantes do peso próprio da estrutura e dos elementos não estruturais, excluindo o peso próprio das instalações, mesmo quando estes equipamentos estão presentes permanentemente. Quando as estruturas das estufas suportam fios e cabos de sombreamento e equipamento de irrigação, o efeito das forças resultantes do sistema e o uso desses fios e cabos, devem ser tidas em conta, tal como se pode constatar no Quadro 7.

Quadro 7 – Cargas resultantes das ações permanentes.

Ações permanentes	
Cabos de suporte devido ao sistema de sombreamento	250 N por cabo
“drive cables”	500 N por cabo
Cabos de suporte devido aos equipamentos de irrigação	1250 N por cabo

A norma considera também que para estruturas de estufas de Classe A e com tempo de vida de 15 anos deverá ser assumido pelo menos 70 N/m<sup>2</sup> em área. O cálculo deve-se realizar de acordo com o EC 1 e vem especificado no Anexo 1 da norma.

As cargas resultantes das instalações permanentes ( $G_{k2}$ ) podem ser equipamentos permanentes que permitem controlar a temperatura, humidade, iluminação, sombreamento, irrigação, ventilação e insolação. Os valores do peso próprio dos equipamentos devem ser determinados de acordo com o EC1.

Cargas resultantes do cultivo ( $Q_{k3}$ ) são carregamentos particulares e são devidas às plantas ou culturas suportadas pela estrutura. As cargas são consideradas como atuando na vertical e são consideradas tanto a meio de crescimento, como o recipiente onde são colocadas as culturas, visto que estes também têm de ser suportados. Os valores mínimos das ações das culturas são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores mínimos das ações das culturas, em kN/m<sup>2</sup>.

Cultura	Valor mínimo da ação da cultura (kN/m <sup>2</sup> )
Culturas, tais como tomates e pepinos	0.15
Culturas em recipientes leves, tais como morangos	0.30
Culturas em recipientes pesados, tais como vasos de plantas	1.00

Cargas de cultivo aplicadas nos fios são calculadas usando a equação 1:

$$F = q_{k3} \cdot a \left( \frac{l^2}{8u} \right) \quad (1)$$

As cargas resultantes das tensões de compressão e de tração, designadas de cargas térmicas, surgem devido à expansão térmica dos materiais usados nas estruturas. Os coeficientes de expansão térmica variam muito entre materiais, sendo que no vidro é muito mais pronunciado do que no plástico.

As cargas resultantes de fenómenos ambientais são fundamentalmente o vento e a neve, consequentemente, as condições de combinações de carga podem variar muito, dependendo da região.

A ação resultante da neve atua na direção vertical, ao passo que aquela decorrente do vento é considerada essencialmente na direção horizontal.

A ação da neve ( $Q_{K2}$ ) é calculada considerando os procedimentos dos EC 1, 2 e 3 mas pode ser adaptado às diferentes tipologias de estufas, como por exemplo, no caso de estufas multi-túneis onde se poderão originar acumulações de neve entre as coberturas. Os coeficientes de forma encontram-se tabulados na norma, tanto para estufas túneis ou multi-túneis, como para estufas com coberturas em arco ou inclinadas a duas águas.

O EC 1 fornece uma forma generalizada de dimensionar assumindo a ação do vento ( $Q_{K1}$ ), mas não inclui os coeficientes de pressão para coberturas arqueadas. A norma soluciona este problema fornecendo coeficientes de pressão externo, interno e de fricção, para diferentes posições angulares, estufas túneis com ou sem pilares e estufas multi-túneis. A carga resultante do vento pode ser dividida em forças de pressão e sucção, contudo esta última é mais relevante em construções de estufas do que as forças de pressão. Ambas as forças dependem muito da velocidade e dos coeficientes de pressão do vento.

As cargas verticais concentradas ( $Q_{K4}$ ) correspondem a cargas produzidas em elementos estruturais ou caleiras e elementos secundários e dizem respeito essencialmente ao peso, quando se realizam operações de manutenção e reparação (ver Quadro 9).

Quadro 9 – Valores característicos das cargas concentradas, em kN, tendo em conta o tipo de elementos estruturais.

Carga concentrada	Valor característico (kN)
Carga em elementos estrutural ou sarjeta	1.00
Carga em elementos secundários	0.35

Cargas de instalações provisórias ( $Q_{K5}$ ) correspondem a magnitudes variáveis originadas por equipamentos móveis provisórios, como por exemplo, equipamentos de limpeza, caleiras, etc. Para determinar o seu valor devem-se usar os dados de peso próprio proporcionados pelo fabricante, assim como a carga máxima que pode suportar o equipamento.

As cargas referidas anteriormente não são estudadas separadamente, mas devem ser consideradas as combinações entre elas, em termos de probabilidade de ocorrência simultaneamente, em cada região. Para esta finalidade, a norma introduz os coeficientes de combinação que são determinados em função da região em estudo e permite estabelecer uma probabilidade de ocorrência simultânea das diferentes ações. Os valores para cada região são apresentados no anexo E da norma EN 13031-1.

No Quadro 10, encontram-se as combinações de ações a considerar em Portugal, para o cálculo das ações nas diferentes classes de estufas.

Quadro 10 – Combinações de carga a usar em Portugal, segundo a norma EN 13031-1.

Combinações de ações	Ação permanente	Ação de instalações permanentes	Ações do vento	Ações da neve	Ação de cultivo	Ações concentradas verticais	Ações de instalações provisórias
a1	$\gamma_{G1}G_{K1}$	$\gamma_{G2}G_{K2}$	$\gamma_{Q1}Q_{K1}$	$\psi_{0Q2}\gamma_{Q2}Q_{K2}$	$\psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{K3}$		
a2	$\gamma_{G1}G_{K1}$	$\gamma_{G2}G_{K2}$	$\psi_{0Q1}\gamma_{Q1}Q_{K1}$	$\gamma_{Q2}Q_{K2}$	$\psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{K3}$		
a3	$\gamma_{G1}G_{K1}$	$\gamma_{G2}G_{K2}$	$\psi_{0Q1}\gamma_{Q1}Q_{K1}$	$\psi_{0Q2}\gamma_{Q2}Q_{K2}$	$\gamma_{Q3}Q_{K3}$		
b1	$\gamma_{G1}G_{K1}$		$\gamma_{G3}G_{K3}$				
c1	$\gamma_{G1}G_{K1}$	$\gamma_{G2}G_{K2}$			$\psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{K3}$	$\gamma_{Q4}Q_{K4}$	$\psi_{0Q5}\gamma_{Q5}Q_{K5}$
c2	$\gamma_{G1}G_{K1}$	$\gamma_{G2}G_{K2}$					$\gamma_{Q5}Q_{K5}$

Nos Quadro 11 e Quadro 12, encontram-se os valores de coeficientes de combinação e os fatores parciais correspondentes a Portugal.

Quadro 11 – Coeficientes de combinação para Portugal, segundo a norma EN 13031-1.

Carga	Símbolo	ELS	ULS
Ação permanente	$\gamma_{G1}$	1.0	1.2/1.0 *
Ação de instalações permanentes	$\gamma_{G2}$	1.0	1.2/1.0 *
Ações do vento	$\gamma_{Q1}$	1.0	1.2
Ações da neve	$\gamma_{Q2}$	1.0	1.2
Ação de cultivo	$\gamma_{Q3}$	1.0	1.2
Ações concentradas verticais	$\gamma_{Q4}$		1.2
Ações de instalações provisórias	$\gamma_{Q5}$	1.0	1.2
Ações térmicas	$\gamma_{Q6}$	1.0	1.0

\* O maior valor deve ser usado quando a ação GK ocorre no sentido desfavorável, o menor valor Gk deve ser usado quando atua no sentido favorável.

Quadro 12 – Fatores parciais correspondentes a Portugal, segundo a norma EN 13031-1.

Combinação de ações	Coeficientes de combinação			
	Vento	Neve	Cultivo	Instalações provisórias
	$\Psi_{0Q1}$	$\Psi_{0Q2}$	$\Psi_{0Q3}$	$\Psi_{0Q5}$
a1		0.6	1.0	
a2	0.0		1.0	
a2	0.6		1.0	
a3	0.6	0.6	-	
c1			1.0	0.6

Apesar dos esforços de normalização, importantes questões técnicas e científicas ficam em aberto devido às características funcionais e estruturais das estufas. Por exemplo, configurações específicas das aberturas para a ventilação poderão influenciar positivamente ou negativamente a ação do vento na estrutura das estufas. Esta influência pode ser crítica para a estabilidade da estrutura não só em circunstâncias extremas, mas também em certas combinações de carga e geometria/ aberturas da estufa (Mistriotis, A. and Briassoulis, D.).

A norma EN 13031-1 incorpora ainda 9 anexos, em que três deles são informativos (Anexo G, H e I) e os restantes normativos (Anexos A-F). Os anexos são os seguintes:

- Anexo A: capacidade estrutural da cobertura.
- Anexo B: Ação do vento.
- Anexo C: Ação da neve.
- Anexo D: Estados limites últimos dos arcos.
- Anexo E: Fatores, coeficientes e fórmulas relacionadas a cada país.
- Anexo F: Manual de utilização e placa de identificação.
- Anexo G: Instruções para manutenção e reparação.
- Anexo H: Detalhes estruturais.
- Anexo I: Método de cálculo para estufas de plástico.

No presente estudo apenas serão abordados os Anexos B, D e I, devido à pertinência destes temas para o estudo em questão. As combinações de ações e valores numéricos para os fatores parciais e coeficientes de combinações do Anexo E já foram referidos no subcapítulo 3.2.

### 3.3. ANEXO B – ACÃO DO VENTO

A ação do vento deve ser calculada de acordo com ENV 1991-2-4 usando a informação específica complementar para estufas.

O tempo de retorno médio usado para determinar a velocidade de referência do vento deve ser tido como o valor do período mínimo de referência apresentados no quadro seguinte, correspondente à classe de estufa.

Quadro 13 – Período mínimo de referência da ação do vento e probabilidade anual de ultrapassar esta ação, segundo a norma EN 13031-1.

	Classe da estufa		
	A15 e B15	A10 e B10	B5
Período mínimo de referência das ações (anos)	15	10	5
Probabilidade anual de ultrapassar as ações correspondentes ao período mínimo de referência	0.07	0.10	0.20
Nota - Probabilidade anual de ultrapassar as ações durante o período mínimo de referência	0.64	0.65	0.67

### 3.3.1 COEFICIENTES AERODINÂMICOS

Os coeficientes aerodinâmicos são baseados em velocidades de vento de referência como definido em ENV 1991-1-4 e são específicos para estruturas de estufas. Eles são dados para:

- Estufas com coberturas planas inclinadas;
- Estufas com coberturas curvas;
- Ventiladores;
- Revestimentos permeáveis.

A altura de referência,  $Z_e$ , é calculada de forma díspar em função do tipo de estufa. Para estufas com cobertura inclinada plana,  $Z_e$  é a altura desde o solo até ao ponto mais alto da estrutura. Por sua vez para estufas com cobertura arqueada,  $Z_e$  deve ser igual à média da altura do cume ( $H$ ) e a altura da caleira, medidas acima do nível do solo, mas não se consideram valores inferiores a  $0.75H$ .

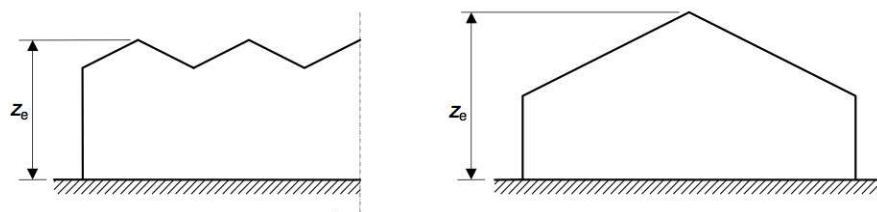


Fig. 14 – Altura de referência,  $Z_e$ , para estufas de classe A.

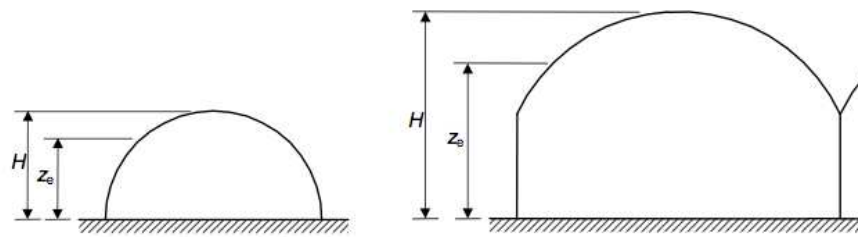


Fig. 15 – Altura de referência,  $Z_e$ , para estufas de classe B.

Os coeficientes de pressão externa dependem essencialmente da direção do vento e das características geométricas da estufa, isto é, se são estufas túneis ou multi-túneis e se possuem cobertura arqueada ou cobertura plana inclinada.

Nas estufas de cobertura plana inclinada os coeficientes variam em função da relação entre a altura e a largura da estufa. Para além disso, as estufas são divididas em diferentes zonas e cada uma delas vai condicionar o coeficiente de pressão externa.

Nas estufas de cobertura arqueada, estas podem subdividir-se ainda em estufas sem pilares, com pilares em toda a estufa ou com pilares exclusivamente internos. Tal como na situação anterior, os coeficientes poderão variar em função da zona da estufa e da relação entre a altura do pilar e a largura da estufa ( $h/s$  e  $h/w$ ). Para além disso, os coeficientes de pressão externa, variam em função do  $\theta$ , isto é, ângulo entre a horizontal e o raio.

Em estufas multi-túneis o valor do coeficiente de pressão externa também é influenciada pelo túnel em estudo, sendo que o valor será diferente para o primeiro túnel ou túnel subsequente. O Quadro 14 e a Fig. 16 são um exemplo de como a norma apresenta os valores referentes aos coeficientes de pressão externa.

Quadro 14 – Exemplo dos coeficientes de pressão externa para uma estufa, segundo a norma EN 13031-1.

Direção do vento	$\theta$	A	A *	
0º	0º a 55º	+ 0.3	+ 0.3	
	55º a 115º	- 1.0	- 1.2	
	115º a 180º	- 0.4	- 0.4	
* Para h/s < 0.2 e filme plástico de revestimento sem mobilidade ao longo da cumeeira.				
Direção do vento	h/s	K	L	M
0º	<=0.4	+ 0.6	- 0.3	- 0.3
	>= 0.6	+ 0.6	- 0.6	- 0.4
Direção do vento	$\theta$	N	O	P
90º	Todos	-0.2	+0.7	-0.3



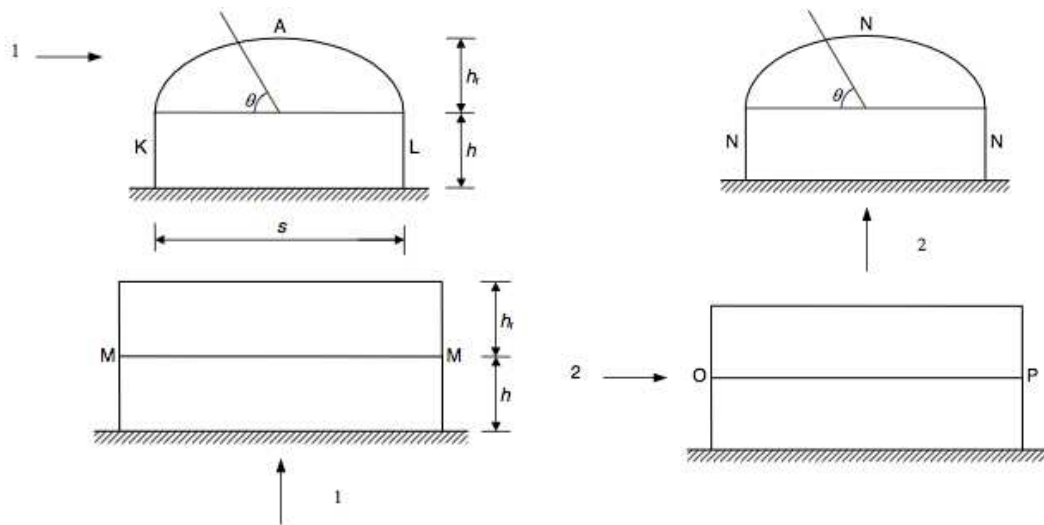


Fig. 16 – Exemplo gráfico da definição de zonas das estufas, para a atribuição de coeficientes de pressão externa, para a direcção do vento (1) 0° e (2) a 90° em relação à estrutura, segundo a norma EN 13031-1.

Os coeficientes de pressão locais aplicam-se às coberturas, estruturas do vidro e às ligações. Tal como para o coeficiente de pressão externo, as zonas da estufa, a direcção do vento e a relação entre os pilares e a largura da estufa influenciam o coeficiente de pressão local. Os coeficientes de pressão locais encontram-se tabelados, como se pode verificar no exemplo apresentado no Quadro 15 e Fig. 17.

Quadro 15 – Exemplo de coeficientes de pressão locais, para uma estufa, segundo a norma EN 13031-1.

Direção do vento	$\theta$	EE	FF
90°	Todos	-1.2	-0.5

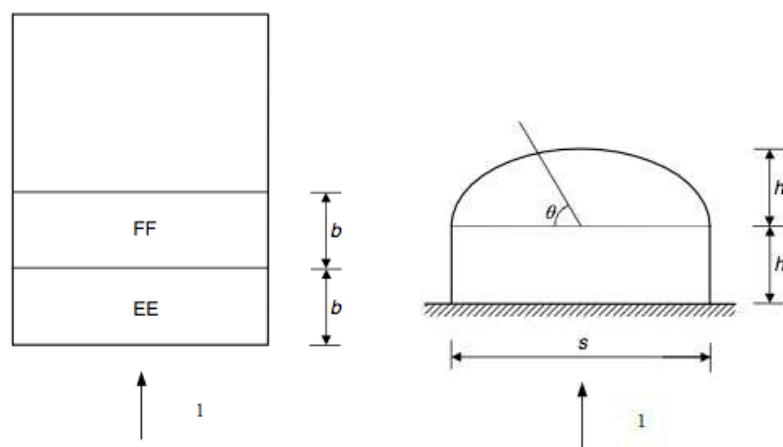


Fig. 17 – Exemplo gráfico da definição de zonas das estufas arqueadas, para a atribuição de coeficientes de pressão locais, para a direcção do vento (1) 0° em relação à estrutura, segundo a norma EN 13031-1.

Os coeficientes de pressão internos variam também em função da direção do vento e da tipologia de estufa, com um vão ou múltiplos vãos (Quadro 16).

Quadro 16 – Coeficientes de pressão internos, para as estufas, segundo a norma EN 13031-1.

Direção do vento	Um vão		Multi-vãos
	Lados impermeáveis *	Lados permeáveis ou ventilados **	
0°	$C_{pi} = 0.2$	$C_{pi} = 0.2$	$C_{pi} = 0.2$
	$C_{pi} = -0.4$	$C_{pi} = -0.2$ ***	$C_{pi} = -0.3$
90°	$C_{pi} = 0.2$	$C_{pi} = 0.2$	$C_{pi} = 0.2$
	$C_{pi} = -0.1$	$C_{pi} = 0.0$	$C_{pi} = -0.1$

\* Estufas com aberturas fechadas e/ou portas em paredes de extremidade, mas as paredes laterais são impermeáveis;

\*\* Estufas com aberturas e/ou portas fechadas em paredes de extremidade e paredes laterais ventiladas ou permeáveis;

\*\*\* Onde existe ventilação superior permanente deve ser usado  $C_{pi} = -0.3$ .

As forças do vento de fricção podem ser calculadas usando um coeficiente de fricção  $C_f=0.01$ . Contudo, este também pode ser determinado nas paredes paralelas à direção do vento.

O coeficiente de pressão na rede nos ventiladores,  $C_{p,net}$ , deve ser considerado com os ventiladores abertos e pode ser  $C_{p,net} = +1.25$  e  $C_{p,net} = -1.25$ .

Para coberturas permeáveis os coeficientes de pressão internos e externos devem ser determinados com testes baseados em métodos apropriados. Na ausência de testes, a norma permite que se usem coeficientes de pressão para estufas revestidas com materiais não permeáveis.

O coeficiente dinâmico para a resposta para rajadas de vento,  $c_d$ , de painéis de revestimento, de perfis de suporte do revestimento e das ligações pode ser considerado como igual à unidade. Este valor também deve ser utilizado em caleiras, vigas, cumes e componentes estruturais de apoio a empenas e paredes laterais de estufas. A norma acrescenta que nas estruturas de suporte e os contraventamentos das estufas, os valores de  $c_d$  podem ser obtidos em ábacos e são baseadas em parâmetros típicos. Esta redução só é permitida em forças horizontais, se a estrutura for capaz de redistribuir as forças horizontais. O efeito de juntas de dilatação tem de ser tida em conta para a determinação do comprimento e da largura da estufa.

No dimensionamento de estufas, apesar dos ventiladores poderem estar abertos ou fechados, deve-se considerar que estes se encontram fechados, sempre que se tem em conta a ação do vento. Por sua vez, os ventiladores e os mecanismos de abertura devem ser concebidos considerando duas posições: semi-abertos e na sua máxima abertura, e deverão resistir ao efeito da ação do vento a 65% e 40% da velocidade do vento de referência, respetivamente.

### 3.4. ANEXO D – ESTADO LIMITE ÚLTIMO DOS ARCOS

Os arcos devem ser verificados de acordo com os procedimentos descritos no NP EN 1991-1. No Anexo D da norma EN 13031-1 os procedimentos são adaptados às estruturas de estufas. Estes procedimentos são necessários porque na norma NP EN 1993-1-1 não contém referências de dimensionamento de arcos esbeltos mono tubulares, isto é, não são dadas indicações para imperfeições geométricas, comprimento de encurvaduras e amplificação do momento para deslocamentos nos arcos. Podem ser usados outros procedimentos, desde que tenham em conta as imperfeições e efeitos das secções tubulares de paredes finas específicas, para arcos tubulares de aço em túneis revestidos com filme plástico, porque estes são maiores do que nos edifícios correntes.

A distribuição de carga no arco resultados de ações externas sobre o filme e a pré-tensão no filme plástico, deve ser tida em conta os procedimentos do anexo I.

O ELU dos arcos deve ser verificado de acordo com um dos seguintes métodos de análise:

- Elástica de primeira ordem e encurvadura linear;
- Elástica de segunda ordem;
- Elástico-plástico de segunda ordem.

No Quadro 17 encontram-se resumidos os requisitos para cada método de análise no ELU.

Quadro 17 – Requisitos do estado limite último dos arcos.

Método de análise	Imperfeição geométrica equivalente	Critérios a ter em conta	
		Resistência da secção	Estabilidade
Elástico de primeira ordem e encurvadura linear	Sim	Sim	$\lambda_{cr} \geq 3.6$
Elástico de segunda ordem	Sim	Sim	$\alpha_{cr} \geq 3.0$
Elástico-plástico de segunda ordem	Sim	Não	$\alpha_u \geq 1.0$

### 3.5. ANEXO I - MÉTODO DE CÁLCULO PARA ESTUFAS DE PLÁSTICO

Não há um método simples disponível para determinar a distribuição das forças e momentos nos arcos e túneis revestidos com filme. As ações no filme são tidas tendo em conta o vento e/ou a neve atuando no filme assumindo que este permanece em contacto total, com os arcos. No entanto, a ação devida à pré-tensão no filme muitas vezes é negligenciada. Por vezes se a ação do vento for superior à ação da pré-tensão o filme “solta-se” do arco, não existindo transmissão de forças entre o filme e o arco. O comportamento real pode diferir muito da distribuição de forças assumida e dos momentos que surgem como resultado das ações externas.

No anexo I apresenta-se o método de cálculo para estufas cobertas com plástico flexível e tanto é válido para os filmes de uma camada, bem como para os filmes duplos insuflados de ar. Para os telhados inclinados planos, também se pode usar um método de cálculo baseado nos mesmos princípios utilizados para filmes plásticos. As ações no filme plástico são fundamentalmente resultantes do vento e da pré-tensão. A norma sugere que caso a soma das duas ações provoque

esforços de compressão, se considere esse valor em relação à pré-tensão, caso contrário terá de existir uma correção na área do filme tracionado (Ver Fig. 18).

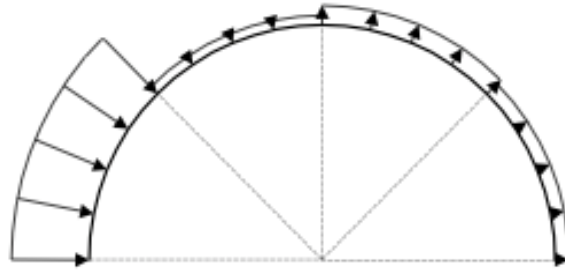


Fig. 18 – Exemplo das ações resultantes no revestimento plástico, fruto do vento e pré-tensão, em que parte do filme encontra-se tracionado e a restante comprimido.

No estudo da verificação do filme, este deve resistir às forças normais no filme (forças de membrana). Para tal, devem ser tidas em conta tanto na direção paralela aos arcos, assim como as forças perpendiculares aos arcos. A força normal deve ser pelo menos igual à força de pré-tensão e é válida a maior das duas. Por sua vez, na direção perpendicular dos arcos o valor máximo da força normal resulta das ações uniformemente distribuídas sobre o filme e a força de pré-tensão na mesma direção. As forças normais devem ainda ser verificadas em relação à capacidade de carga do filme, devendo ser tido em conta o efeito a longo prazo, como resultado do envelhecimento, fluência e relaxamento. O mesmo acontece com as forças devidas à pré-tensão, contudo o vento tem resultado nos efeitos de curto prazo.

# 4

## ESTRUTURAS DE ESTUFAS

### 4.1. INTRODUÇÃO

A Horpozim – Associação dos Horticultores da Póvoa Varzim é uma associação que procura junto dos associados resolver os seus problemas, defender os seus direitos e dar resposta às necessidades, contribuindo para melhorar a qualidade e os métodos de cultura. É a única estrutura associativa da região com intuítos não comerciais, possuindo até então, mais de 600 associados cuja proveniência incide sobre três concelhos: Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende (Horpozim, 2012).

No início do presente estudo contactou-se a associação Horpozim com o intuito de fomentar a ligação aos produtores da região que tinham sido vítimas das intempéries do mês de Fevereiro de 2014. Apesar do número significativo de explorações afetadas por este fenómeno natural, encontrou-se apenas disponibilidade para a apresentação dos efeitos nas propriedades de exploração agrícola de 5 produtores. Ao longo do trabalho, as explorações vão ser mencionadas como E1, E2, E3, E4 e E5, de forma a respeitar a identidade dos produtores.

Para além dos agricultores também foram contactados os principais construtores e projetistas de estufas nacionais, por serem um importante agente no desenvolvimento desta atividade económica.

Por fim, as empresas de seguros foram contactadas por desempenharem também um papel crucial nesta atividade económica, ao nível de compensações económicas no caso de eventuais danos.

### 4.2. AS ESTRUTURAS AGRÍCOLAS PROTEGIDAS

#### 4.2.1. CARATERIZAÇÃO DAS ESTUFAS

Os agricultores visitados produziam essencialmente alfaces, pimentos e tomates, contudo, por vezes possuíam outro tipo de culturas, sendo no entanto pouco significativa. Verificou-se também que nenhum dos entrevistados possui grau superior académico na área da Agronomia. A ligação ao sector destes associados surgiu fundamentalmente como continuidade da tradição familiar ou como forma de rentabilizar os seus terrenos que se encontravam abandonados.

Durante as visitas às explorações procurou-se compreender o grau de importância do uso de estufas para a sua atividade económica. Todos os produtores afirmaram ser uma estrutura crucial para desenvolverem a atividade porque lhes permite proteger as culturas de fenómenos atmosféricos, tais como a chuva, vento, humidade e temperaturas extremas.

Posteriormente, pretendeu-se caracterizar as estufas, quanto ao tipo de material utilizado na estrutura, assim como o tipo de revestimento e a forma do pórtico. Algumas das dimensões foram facultadas pelos próprios produtores, devido à inacessibilidade às estruturas, derivado aos danos estruturais.

A exploração E1 apresenta uma estufa do tipo multi-túnel que se desenvolve ao longo de 80 m de comprimento, com 10 m de vão e paredes laterais de 4.5 m. Os pilares externos possuem 2.5 m de espaçamento, enquanto os interiores 5 m. A estrutura de aço galvanizado é revestida por filme plástico na cobertura e plástico rígido nas paredes laterais. No topo da estufa existe um edifício de apoio, que permite arrumar o material e armazenar as culturas. A ventilação da estufa faz-se por ventiladores zenitais, na cobertura da estrutura. A representação gráfica do pórtico da estufa encontra-se na Fig. 19.

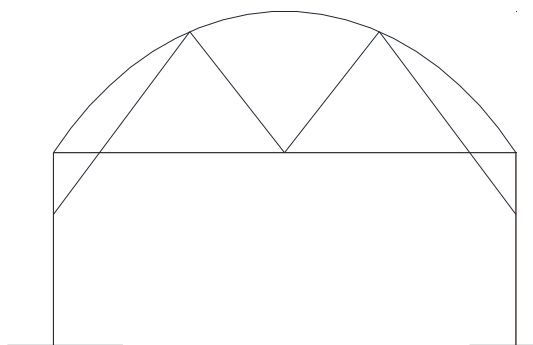


Fig. 19 – Pórtico da estrutura da estufa E1.

A estufa do tipo multi-túnel é também o sistema adotado na exploração E2, sendo composta por dois túneis de 130 m, contudo esta é uma estufa cujos elementos estruturais foram reaproveitados de uma anterior solução. Os pilares de aço galvanizado tinham 2.5 m de altura e estavam espaçados entre si no exterior de 2.5 m e no interior de 5 m. O revestimento é composto por filme plástico e a ventilação manual, através de rolos laterais e também com aberturas nas paredes frontais. Na Fig. 20 apresenta-se uma representação do pórtico modular desta estufa.

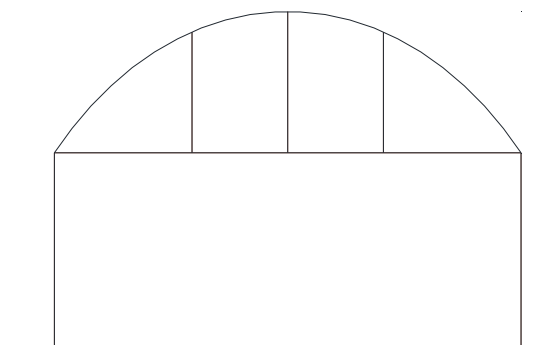


Fig. 20 – Pórtico da estrutura da estufa E2.

Relativamente à exploração E3, uma das estufas danificada tinha já sido removida aquando da visita, ao passo que as duas restantes encontravam-se totalmente recuperadas. As fotografias facultadas pelo proprietário permitiram verificar que eram duas estruturas com dois túneis de aço galvanizado, revestido com filme plástico e com 52 e 50 m de comprimento. Tal como na E2, a ventilação era manual e realizava-se através dos rolos laterais e de aberturas nas fachadas. As fundações compostas

com cilindros de betão encontravam-se espaçadas 2.5 m no exterior e 5m no interior, tal como os pilares. A estrutura do pórtico modular encontra-se representado na Fig. 21.

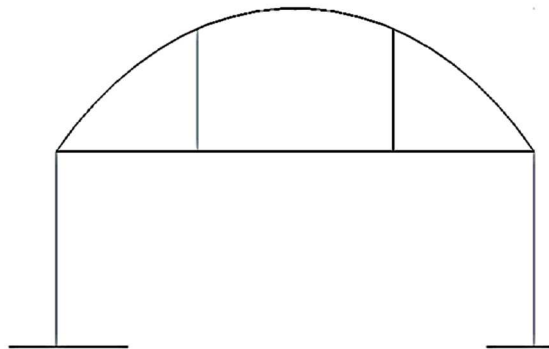


Fig. 21 – Pórtico da estrutura da estufa E3.

A estufa utilizada na exploração E4 consiste numa estrutura multi-túnel de filme plástico composta por 2 túneis, cada um com 10 m de vão e 50 m de comprimento. Os pilares encontram-se afastados 2 e 4 m, no exterior e interior, respetivamente. A ventilação realiza-se através das aberturas laterais com rolos e nas fachadas frontais. Na Fig. 22 encontra-se uma representação do pórtico modular da estufa.

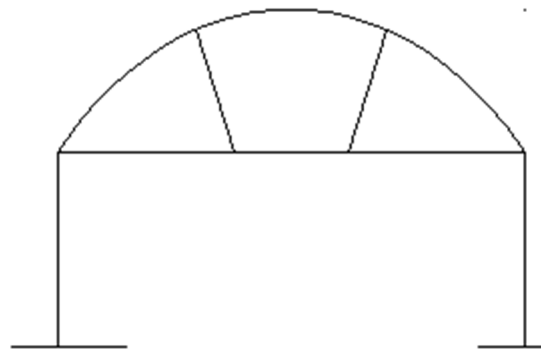


Fig. 22 – Pórtico da estrutura da estufa E4.

Relativamente à exploração E5 é adotada uma estrutura com dois túneis, da qual não foi possível ter acesso ao projeto original uma vez que no passado existiram alterações devido a danos estruturais resultantes das intempéries de 2002 e 2004. A estufa de aço galvanizado e filme plástico é atualmente constituída por dois túneis de 10 m de vão e com os pilares espaçados de 2 em 2 m no exterior e de 4 em 4 m no interior. Um dos túneis possui 80 m, ao passo que o outro 160 m. O produtor referiu que inicialmente a distância entre os pilares era de 2.5 e 5 m, mas que constatou que se tornava instável a após os primeiros acidentes, alterou o espaçamento entre os mesmos. A ventilação tal como nas estufas anteriores era feita através de rolo nas paredes laterais e por aberturas nas fachadas. O pórtico da estufa possuía um modelo idêntico ao da estufa E4.

O proprietário da exploração E5 reconheceu que o acondicionamento da sua estufa foi uma solução errada, e que atualmente dará preferência à aquisição de uma estufa mais robusta, apesar do maior investimento económico, pois teria custos de manutenção muito inferiores.

Todos os produtores referiram que os túneis encontravam-se conectados através de uma caleira, que permitia escoar a água e que esta realizava também uma função estrutural. Em relação ao revestimento, o material normalmente utilizado era o filme plástico devido ao baixo custo de investimento, comparativamente com outros materiais. Ressalvaram também a necessidade da utilização de rede sempre que estivesse a ser realizada ventilação, para que os insetos ou aves não entrassem e danificassem as culturas ou propagassem doenças entre as culturas. Para além disso, também referiram que as fundações eram realizadas com cilindros de betão e no sentido longitudinal existia o sistema de rega, que se encontrava suspenso na estrutura.

#### 4.2.2. DANOS NAS ESTUFAS DA REGIÃO DA PÓVOA DE VARZIM, VILA DO CONDE E ESPOSENDE

Em Portugal Continental, durante o mês de Fevereiro ocorreram períodos de precipitação forte, acompanhados de ventos. Foi na noite de 9 e 10 de Fevereiro de 2014 que ocorreram os principais danos nas estufas visitadas. No boletim climatológico mensal do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, a entidade refere que nessa noite, “devido à passagem de uma depressão que sofreu um processo de ciclogénese explosiva no seu trajeto pelo Atlântico”, ocorreram precipitações fortes, com aguaceiros por vezes sob a forma de granizo. Para além disso “verificou-se ainda vento forte a muito forte de sudoeste ou oeste, tendo a rajada máxima registada sido de 134 km/h, no Cabo da Roca” (IPMA, 2014). O IPMA (2014) faz também referência à rajada máxima observada na estação meteorológica da Serra do Pilar, com o um valor máximo de 106 km/h, às duas horas do dia 10 de Fevereiro. Os valores da velocidade do vento a esta hora são corroborados pela informação proveniente da estação localizada no aeroporto de Sá Carneiro, que apresentou ventos de rajada de 100 km/h (wunderground, 2014). Foi nesta noite que se verificaram os danos estruturais nas estufas visitadas.

As estufas apresentavam níveis de estragos distintos, no entanto as rajadas de vento muito é o fenómeno transversal.

As alterações estruturais verificadas na estufa da exploração E1 foram essencialmente localizados numa parede lateral. O pilar sofreu flexão devido a encurvadura, assim como alguns elementos estruturais do arco da cobertura, como consequência dos danos nos pilares. O plástico rígido de revestimento foi destruído nesta parede, assim como o filme plástico flexível na extremidade oposta da estufa, o que permitiu que o vento saísse pelo seu interior (Fig. 23).



Fig. 23 – Danos estruturais observados na estrutura E1.



Na estufa da exploração E2 os estragos focaram-se num dos túneis, tendo o outro sido danificado como consequência dos danos ocorridos no primeiro. O principal túnel danificado, para além do prejuízo no material de revestimento, apresentava rotação tanto nos pilares, como nos elementos estruturais do arco do pórtico. As fundações do corredor central, devido ao efeito de sucção e ao vento no interior da estufa, foram levantadas do solo. Para além disso, foram também observadas algumas ligações soltas, o que poderá ter facilitado a destruição da estrutura (ver Fig. 244).



Fig. 24 – Danos estruturais observados, nas fundações (à esquerda) e no arco (à direita) da estrutura E2.

A estufa da E3 apresentou dois fenómenos de destruição distintos. O primeiro devido, provavelmente, à entrada lateral dos ventos em dois dos túneis, tendo criado a elevação da estrutura e provocado uma rotação pelos pilares, que se encontravam junto à segunda estufa, caindo sobre ela. Esta por sua vez ficou com o revestimento deteriorado e a estrutura do arco danificada (ver Fig. 25).



Fig. 25 – Danos na estrutura da estufa E3 (fotografia cedida pelo proprietário).

Esta estufa aquando da visita já se encontrava recuperada. Os túneis que sofreram a rotação foram retirados, ao passo que o túnel danificado no arco foi recuperado com operações executadas no local.

A estufa da exploração E4 sofreu essencialmente rotação nas bases dos pilares. Estas alterações na estrutura provocaram a sua queda, como se pode constatar na Fig. 26. Para além disso o material de revestimento de todos os túneis sofreram graves estragos, assim como alguns elementos do arco estrutural do túnel.



Fig. 26 – Danos ao nível do arco da estrutura da estufa E4.

Os danos na E5 foram observados em alguns pilares e no arco da estrutura, contudo os principais estragos foram ao nível do filme de plástico que revestia a estufa. Constatou-se que as ligações das cumeeiras se soltaram e alguns dos elementos sofreram ligeiras encurvaduras. O produtor referiu também que os danos de 2014 foram inferiores aos dos restantes produtores porque após os prejuízos de 2002 e 2004 alterou a configuração da estufa, diminuindo o espaçamento dos pilares. No dia da visita o produtor encontrava-se a reabilitar a estufa, com algum material excedente que possuía.



Fig. 27 – Danos ao nível do revestimento da estrutura E5.

Em forma de síntese, os danos observados durante as visitas envolveram destruição do material de revestimento, filme de plástico e plástico rígido, assim como ao nível da superestrutura: nos arcos de cobertura e nos pilares. Nestes últimos foi onde se observaram mais danos estruturais através das

rotações na base dos pilares. O levantamento de pilares devido ao efeito do vento no interior da estrutura não foi um fenómeno que se verificou com tanta frequência, possivelmente porque os plásticos antigos rasgaram com facilidade, permitindo que o ar circulasse.

As perdas económicas devido a este fenómeno natural refletem não só os custos de reparação devido aos danos estruturais das estufas, mas também a perda das culturas que se encontravam em crescimento. Os produtores não conseguiram quantificar as despesas, devido ao facto do valor económico das culturas ser amplamente dependente do próprio mercado, cuja oscilação é muito frequente. Foi também referido que não possuem registos das culturas o que dificulta a avaliação das perdas.

Os proprietários e produtores mencionaram unanimemente que as estruturas das estufas não se encontravam seguradas. O motivo apresentado por três dos produtores centrava-se na dificuldade das seguradoras responderem às necessidades dos produtores, isto é, não seguravam o que realmente era relevante. Para além disso, os produtores argumentaram que os valores praticados eram muito elevados, o que se tornava inoportável. Um dos produtores referiu ainda que nunca tinha segurado a estrutura e revestimento da estufa porque não tinha tido necessidade, visto que até então a estufa nunca tinha tido danos graves. Os restantes mencionaram que a informação que possuíam tinha sido facultada por colegas e como tal sempre julgavam que seria um investimento desnecessário.

#### **4.3. AS EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO DE ESTUFAS**

A par dos produtores, os construtores, montadores e projetistas são importantes agentes no desenvolvimento das estufas. Assim, efetuou-se um levantamento e contactaram-se as empresas que se dedicam a esta atividade em Portugal. Algumas das empresas verificou-se serem apenas revendedoras, ao passo que outras encontravam-se já em fase de encerramento, tendo participado neste estudo um total de 6 empresas, designadas de C1, C2, C3, C4, C5 e C6.

Quanto à área geográfica, verificou-se que as empresas C1, C2 e C4 atuam principalmente na região norte do país, ao passo que as empresas C3, C5 e C6, para além de possuírem clientes em Portugal, fundamentalmente na região centro e sul, encontram-se internacionalizadas e desenvolveram o seu trabalho em África, América Central e do América do Sul.

Em relação às equipas técnicas, as empresas C1 e C2 referiram não possuir nenhum profissional da área da Engenharia e mencionaram não existir necessidade para tal porque o sistema que desenvolvem é simples e modular. Um dos responsáveis pela empresa C4 era um Engenheiro Agrónomo e possuía um Engenheiro Civil, atualmente a trabalhar no estrangeiro, mas que no passado tinha colaborado com a equipa. A construtora C5 possuía Engenheiros Mecânicos na equipa, e as empresas C3 e C6 mencionaram possuir Engenheiros Cívicos integrados na equipa de trabalho.

Numa primeira fase pediu-se aos construtores que descrevessem o primeiro contacto com os clientes. De uma forma geral, os empresários referiram que os produtores quando os contactavam já tinham consciência das características das estruturas que pretendiam para as suas explorações. No entanto, os produtores acrescentaram que apresentam sempre alternativas em função da localização da estufa e do tipo de cultivo para melhorar a sua resistência. Os construtores C3 e C6 realçaram que não diminuem a qualidade do serviço, mesmo quando solicitado pelos clientes, e como consequência perdem alguns clientes. Esta última acrescentou ainda que na região da Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende possuem poucos clientes porque se recusam a desenvolver estruturas pouco robustas, devido aos ventos que se fazem sentir na região.

Os construtores mencionaram também que 90% dos produtores são financiados pelo PRODER e que não investem para além do valor que lhes é atribuído, preferindo que os custos nos edifícios sejam reduzidos, em detrimento da qualidade. No entanto a expansão para o estrangeiro tem sido muito positiva para estas duas empresas, assim como para a empresa C5. A C3, C5 e C6 referiram também que caso as entidades financeiras acompanhassem os projetos, possivelmente não existiriam tantos danos, porque as estruturas de estufas seriam mais robustas.

Quando questionadas sobre os regulamentos e normas, que regem a construção de estufas, apenas duas estufas referiram que utilizavam a norma EN 13031-1. A C3 desde 2008 que aplica a norma e a introdução deveu-se a um Engenheiro Civil que trabalhou na empresa e que envolveu um estudo com outra empresa, de modo a estudar a estrutura *standard* que possuíam. O responsável referiu que no início da aplicação da norma não tiveram muita receptividade por parte dos produtores da zona do Oeste. Porém, naquele ano, coincidentemente, ocorreu um temporal que danificou muitas estufas. As estufas da sua empresa não tiveram danos o que originou um aumento da procura. Desde então têm elaborado as estufas com base nesse pórtico verificado segundo a norma. Ao longo dos anos têm desenvolvido melhorias na estrutura, especialmente na forma do arco, nas ligações e caleira. Atualmente pretendem realizar outro estudo para verificar se no novo pórtico existem elementos com menor resistência.

A empresa C5 referiu que se rege pela norma europeia e apresentou um exemplo da memória descritiva apresentada às autarquias, onde fazem referência às cargas utilizadas no dimensionamento. Eles não referiram se realizavam verificações fundamentadas na norma. As restantes empresas referiram que não existem normas que regulem a construção e dimensionamento de estufas, mas reconheciam que seria muito importante para sistematizar o seu processo. A empresa C6 referiu que apesar de não existir uma norma que regule a construção e dimensionamento existe um regulamento francês TC284, que normaliza as temperaturas em função das culturas. Porém, a norma TC284 envolve a comissão técnica que desenvolveu a norma EN 13031-1, tendo as empresas C5 e C6 feito parte da equipa de trabalho.

Aos construtores que responderam desconhecer a existência da norma foi-lhes solicitado que esclarecessem como desenvolviam os projetos. Os entrevistados referiram que os pórticos modulares foram resultado de um trabalho realizado por um Engenheiro Civil há cerca de uma década, assim como do conhecimento prático adquirido ao longo dos anos. Para além disso, referiram que no início da sua vida profissional e na ausência de computadores, as estruturas eram testadas no dia-a-dia e que sempre que ocorria um fenómeno anormal se analisava o comportamento das estufas. Na atualidade ainda realizam testes do terreno e é com base nessa informação que continuam a efetuar melhorias nas estufas. A construtora C1 referiu também que caso existissem normas, as empresas teriam de se certificar. Tal facto não seria do seu interesse porque aumentaria os custos da empresa e os próprios agricultores não teriam interesse.

As estruturas desenvolvidas por estas empresas são feitas fundamentalmente em aço galvanizado e o revestimento utilizado pode ser de vidro, rede de sombreamento ou filme em plástico, sendo estes dois últimos os materiais mais utilizados. As empresas apresentam diferentes soluções, desde estufas tipo Parral, túnel e multi-túnel com arco redondo ou gótico, assim como estruturas robustas que se adaptam à utilização do vidro. As secções dos tubos referidos pelos construtores são muito semelhantes, variando na forma: circular ou redonda, como nas dimensões. No Quadro 18, encontram-se as principais características geométricas das estufas multi-túneis com arco redondo, visto que são as principais estufas comercializadas em Portugal.

Quadro 18 – Quadro síntese com as principais características geométricas das estufas.

Empresa		Secção (m)	Espessura (mm)	Espaçamento dos pilares (m)	Largura/ altura (m)	Fundações (m)	Material
C1	(P)	$\square > 3 \text{ } 0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$ $\bigcirc < 4 \text{ } \varnothing 0.40$ $\bigcirc 4 - 5 \text{ } \varnothing 0.40 / 0.60$ $\bigcirc > 5 \text{ } \varnothing 0.60$	e=2 e=1.5	Pilares exteriores: 2.5m  Pilares interiores: 5m	Largura: 8 a 10	Cilindros de betão h=1.00 $\varnothing=0.50$	Aço galvanizado Z275
		$\bigcirc \varnothing 0.60$					
C2	(P)	$\square 2.5 - 3 \text{ m } 0.60 \times 0.60 \text{ m}^2$ $\square 3 - 3.5 \text{ } 0.60 \times 0.80 \text{ m}^2$ $\square > 3 \text{ } 0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$	e=2	Pilares exteriores: 2m  Pilares interiores: 4m	Largura: 8 a 10 Altura: 2.5-3-3.5- (...)	Cilindros de betão h=0.90 $\varnothing=0.30$	Aço galvanizado Z275
	(A)	$\bigcirc \varnothing 0.60$	e=1.5				
	(T)	$\bigcirc \varnothing 0.32$					
C3	(P)	$\bigcirc \varnothing 0.60$	e=2.5	Pilares exteriores: 2.5m  Pilares interiores: 5m	Largura: 8 a 10 Altura: 3-3.5-(...)	Cilindros de betão h=1.00 $\varnothing=0.30$ ou 0.40	Aço galvanizado Z275 ou magnélis®
	(A)	$\bigcirc \varnothing 0.50$ $\bigcirc \varnothing 0.40$ $\bigcirc \varnothing 0.30$	e=2 e=1.5				
C4	(P)	$\square 2.5 - 3 \text{ m } 0.60 \times 0.60 \text{ m}^2$ $\square 3.5 - 4 \text{ } 0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$	e=3	Pilares exteriores: 2m ou 2.5m  Pilares interiores: 4m ou 5m	Largura: 8 a 10 m	Cilindros de betão h=1.0 m $\varnothing=0.30$	Aço galvanizado com zinco ou alumínio
C5	(A)	$\bigcirc \varnothing 0.60$	e=2	Pilares exteriores: 2.5m  Pilares interiores: 5m	Largura: 8 a 10 m Altura: 2.5-3-4.5		Aço galvanizado Z275
	(T)	$\bigcirc \varnothing 0.32$	e=1.5				
C6	(P)	$\square 0.60 \times 0.60 \text{ m}^2$ $\square 0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$	e=2	Pilares exteriores: 2m ou 2.5m  Pilares interiores: 4m ou 5m	Largura: 8 a 10 m Altura: 2.5-3-3.5- (...)	Cilindros de betão armado h=0.90 $\varnothing 30/40$ (depende do terreno)	Aço galvanizado Z275 (atualmente estão a tentar substituir por magnélis®)
			e=2 ou 3 (depende ndo do vento na região)				
	(A)	$\bigcirc \varnothing 0.60$	e=1.5				
	(T)	$\bigcirc \varnothing 0.32$					
(P) – Pilar (A) – Arco (T) - Travamentos							

Os filmes plásticos utilizados nos revestimentos têm benefícios económicos para os agricultores, porém apresentam algumas limitações. Os construtores referiram que evitam aplicar em dias com ventos porque para além de dificultar a sua aplicação, esta por vezes apresenta defeitos. Além do vento, a temperatura influencia a tensão criada no plástico. O revestimento quando aplicado no Inverno fica com pouca tensão nos dias quentes. O contrário acontece se a aplicação do filme plástico for realizada no Verão, a tensão desenvolvida no plástico é maior mas garante maior segurança ao revestimento.

Relativamente aos seguros das estruturas, os entrevistados referiram não ter conhecimento dos serviços existentes no mercado. No entanto, eles mencionaram que com base nos feedbacks provenientes dos agricultores, constatarem que os seguros se encontram desadequados às necessidades destes. Por outro lado, a empresa C3 referiu que na região do Oeste, onde possuem a sua atividade, têm conhecimento que a análise de risco elaborada pelos agentes de seguro é inferior nas suas estufas. Eles justificam esta situação com a menor taxa de ocorrência de danos comparativamente com as da concorrência, devido aos benefícios que a aplicação da norma originou.

Por fim foi pedido aos técnicos das empresas de construção de estufas que enumerassem as principais dificuldades que enfrentam atualmente na sua atividade. A nível estrutural todos referiram que o maior problema cinge-se às ligações porque é onde ocorrem os principais problemas e para as empresas C3, C5 e C6 são de difícil modelação. A empresa C3 e C6 acrescentaram ainda que têm vindo a desenvolver uma caleira, que também desempenha funções estruturais e que tem beneficiado a robustez da estrutura. Para além disso, a C3 acrescentou elementos estruturais especialmente nos túneis externos. Por exemplo, na parede a barlavento desenvolveram duas soluções de contraventamento, uma vertical e outra oblíqua (ver Fig. 28). A diferença entre os dois casos cinge-se à disponibilidade do terreno em redor da estufa.



Fig. 28 – Parede contraventada da estufa a barlavento.



Ao nível das paredes frontais, também reforçaram as ligações dos pilares, arco e caleira, com alguns elementos estruturais, aumentando a rigidez dos pontos mais críticos (ver Fig. 29).



Fig. 29 – Ligação entre a caleira, pilar e arcos (à esquerda) e ligação K (à direita).

O sistema de parafusos, utilizado pela C6 foi atualmente reduzido para menos de 2% de parafusos auto perfurantes, substituindo-os por braçadeiras. Esta empresa referiu também, que reforçou o sistema de fundações e da ligação ao pilar, por terem verificado que é o local onde ocorrem frequentemente estragos. Tanto esta empresa como a C3 pretendem substituir a galvanização do aço pelo Magnelis®<sup>3</sup>, porque apresenta melhor resistência aos fatores ambientais adversos, contudo ainda é um serviço muito demorado comparativamente com a galvanização.

A nível burocrático os construtores referiram, que o facto dos regulamentos municipais diferirem ao nível do licenciamento em cada concelho assim como os documentos solicitados, dificulta o processo de construção. Como exemplo, alguns construtores relataram que existem autarquias que solicitam apenas uma memória descritiva, com uma breve descrição técnica da estrutura e materiais utilizados, ao passo que outras entidades, para construções idênticas solicitam projeto de arquitetura e taxas de impermeabilização do solo. Outro problema referido, em especial nos concelhos abrangentes da Horpozim, é a compra em segunda-mão e a concorrência por parte de serralheiros e canalizadores, que constroem e realizam manutenção de estufas e sistemas de regas, respetivamente. Todos referiram que se as autarquias fossem mais exigentes e apoiasse os agricultores, sem que dificultassem economicamente este sector, provavelmente os danos não seriam recorrentes, porque os agricultores teriam de procurar soluções mais robustas.

#### 4.4. AS EMPRESAS DE SEGUROS DE ESTUFAS

Paralelamente às empresas de construção de estufas e os seus clientes, também as seguradoras foram contactadas no âmbito deste estudo.

A primeira empresa contactada foi a Caixa de Crédito Agrícola Mútuo da Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende (CA), por indicação da Horpozim. A associação possui um protocolo de colaboração com a entidade, possuindo condições especiais de subscrição para os seus associados. A

<sup>3</sup> Recobrimento metálico, que fornece proteção contra o desgaste a longo prazo, em especial a corrosão. A proteção é feita através de um banho de zinco, alumínio e magnésio (Arcelormittal, 2014)

CA possui para além dos seguros habituais de acidentes de trabalho ou de acidentes pessoais, seguros específicos para a agricultura: seguro de estufas e seguro de colheitas. No presente trabalho será abordado exclusivamente o seguro de estufas, devido à pertinência para o trabalho.

Nas condições gerais e especiais do Seguro CA Estufas, o documento é dividido da seguinte forma:

- Condições gerais - cláusula preliminar
  - o Capítulo I - Definições, objeto e garantia do contrato
  - o Capítulo II - Declaração do risco, inicial e superveniente
  - o Capítulo III - Pagamento e alteração dos prémios
  - o Capítulo IV - Início de efeitos, duração e vicissitudes do contrato
  - o Capítulo V - Prestação principal do segurado
  - o Capítulo VI - Obrigações e direitos das partes
  - o Capítulo VII - Processamento da indemnização ou da reparação ou reconstrução
  - o Capítulo VIII - Disposições diversas
- Condições especiais - clausula preliminar

Ao longo da descrição do documento apenas serão percorridas algumas cláusulas dos capítulos I e V, pois são aqueles com maior pertinência para o presente estudo.

No primeiro capítulo são apresentadas algumas definições de conceitos que são abordados ao longo do documento. Assim, estufa é entendida como uma “construção de estrutura metálica mista (madeira e metal) ou de outro material adequado, implantada no solo a uma profundidade compreendida entre 50 cm e 70 cm, com dimensões superiores a 2.00 m de altura e 3.00 m de largura, de formas diversas, com uma cobertura ou com paredes e cobertura integralmente revestidas de material transparente, translúcido ou outro material adequado e dispendo de arejamento natural ou forçado” não sendo “consideradas Estufas as construções com estrutura maioritariamente composta por madeira”. Por sua vez Tempo de Vida Útil, é “o período de tempo, contado a partir da respetiva construção ou aquisição em novo, durante o qual se considera que os Bens Seguros, ou seus componentes, estão aptos a executar a função a que se destinam”. Os tempos de vida útil considerados no referido documento para estruturas metálicas encontram-se no Quadro 19, ao passo que para estruturas mistas, no Quadro 20. Para os revestimentos utilizados em estufas, o tempo de vida útil encontra-se estipulado no Quadro 21.

Quadro 19 – Tempos de vida útil de estruturas metálicas de estufas.

Material	Tempo de vida útil (anos)	
	Sem proteção (não galvanizado)	Com proteção (galvanizado)
Ferro	10	20

Quadro 20 – Tempos de vida útil para as estrutura mistas da estufa

Material	Tempo de vida útil (anos)	
	Sem tratamento especial	Com tratamento especial
Ferro	10	20
Pau de pinho	(sem tempo de vida útil)	10



Quadro 21 – Tempo de vida útil para cada tipo de material utilizado no revestimento das estufas, segundo a CA Seguros.

Material	Tempo de vida útil (anos)
Plástico Térmico Tratado (2 campanhas)	1
Plástico Térmico Tratado (4 campanhas)	4
Vidro ou Plástico Rígido (PVC, Policarbonato)	20

À CA foi pedido que esclarecessem algumas dúvidas relativas às definições, tais como a profundidade das fundações e a vida útil das estufas, uma vez que em muitas situações na região não existe necessidade de apresentar projetos ou documentos técnicos que comprovem a construção da mesma. A entidade informou que por norma confiam na informação prestada pelos agricultores e que o agente de seguros faz um levantamento fotográfico exaustivo da estrutura.

Relativamente à cláusula 3ª, do mesmo capítulo, a seguradora garante a cobertura “dos danos diretamente causados aos Bens Seguros, ou seus componentes, durante os respetivos Tempos de Vida Útil, pela ocorrência de qualquer ou quaisquer dos seguintes riscos”: incêndio, ação de queda de raio e explosão, tempestade, inundações, granizo e fenómenos sísmicos. No que concerne às tempestades, são garantidos os danos causados em consequência de “tufões, ciclones, tornados e toda a ação direta de ventos fortes ou choque de objetos arremessados ou projetados pelos mesmos (sempre que a sua violência destrua ou danifique vários edifícios de boa construção, objetos ou árvores num raio de 5 km envolventes dos Bens Seguros)”. Em situação de dúvida o agricultor, poderá justificar, “por documento emitido pela estação meteorológica mais próxima, que no momento do sinistro os ventos atingiram velocidade excepcional (velocidade superior a 80 km/h)”. Também engloba o “alagamento pela queda de chuva, neve ou granizo, desde que estes agentes atmosféricos penetrem no interior da estufa segura”.

A cláusula 6ª do capítulo I mencionava os diversos danos excluídos da garantia do seguro, onde se destacam “os danos verificados em Estufas que estejam assentes sobre fundações que contrariem as normas técnicas ou as boas regras de engenharia de execução das mesmas, em função das características dos terrenos e do tipo de construção ou bens envolvidos nesta cobertura”. Para além disso, também são excluídos os danos “pelos quais um Terceiro, na sua qualidade de fornecedor, montador, construtor ou projetista, seja contratualmente responsável, designadamente os resultantes da deficiência de construção, de projeto, de qualidade de terrenos referir as dificuldades de assegurar as estufas”. Uma vez mais foi solicitado à seguradora que esclarecesse como é que avaliavam as estufas, de acordo com as normas ou as boas regras de engenharia, uma vez que na maioria dos casos não existiam projetos. A seguradora referiu também que confiava na informação prestada pelos clientes, assim como pelos fornecedores, montadores, construtores ou projetistas.

Em relação ao capital seguro, a cláusula 21ª do capítulo V refere que o “valor de capital seguro para para cada Bem Seguro ou grupo de Bens Seguros e no seu todo, corresponde ao limite máximo da responsabilidade do Segurador por cada sinistro e para cada período completo de vigência do contrato, salvo se, em caso de sinistro, o Tomador do Seguro pretender reconstituir o capital seguro, pagando o prémio complementar correspondente”. A mesma cláusula menciona que para estruturas de estufas, o valor do capital seguro deverá corresponder ao custo de mercado da respetiva reconstrução, assumindo como valores de referência os do Quadro 22:

Quadro 22 – Valores de referência para a reconstrução de estufas, segundo a CA Seguradora.

Dimensões	Até 5000/m <sup>2</sup>	> 5000/m <sup>2</sup>
3.00 m altura	11.00 €/m <sup>2</sup>	15.00 €/m <sup>2</sup>
4.50 m altura	15.00 €/m <sup>2</sup>	12.50 €/m <sup>2</sup>
Abertura zenital	25.00 €/m	

O capital seguro para o revestimento da estrutura deverá corresponder ao custo de substituição da cobertura, pelo seu valor em nome acrescido do custo de montagem. Os valores de referência para os diferentes tipos de revestimento encontram-se no seguinte Quadro 23:

Quadro 23 – Valores de referência para os diferentes tipos de revestimento, segundo a CA Seguradora.

Tipos de Revestimento	Preços (standardization, E.c.f.)(standardization, E.c.f.)(standardization, E.c.f.)(standardization, E.c.f.)(standardization, E.c.f.)(standardization, E.c.f.)
Rede	3.00 €/kg
Vidro	10.00 €/m <sup>2</sup>
Policabornato	2.50 €/m <sup>2</sup>
PVC / Chapa de Vidro	7.00 €/m <sup>2</sup>
Plástico 100 (micron's)	1.80 €/kg
Plástico térmico (200 micron's)	3.00 €/kg

Para além disso, é referido que o valor do capital seguro para equipamentos e máquinas devem corresponder ao respetivo custo, deduzido da depreciação inerente ao seu uso e estado.

O agente de seguros que atua na região da Horpozim referiu que os prémios atribuídos às estruturas de estufas desta associação são acessíveis. Contudo, o principal motivo que ele apontou para que não aderissem a este serviço é o facto de o estado financiar os arranjos sempre que ocorriam danos devidos a tempestades. No presente ano, devido à recusa do Ministério da Agricultura e do Mar em financiar os arranjos resultantes das intempéries do passado Inverno, levou a que diversos produtores investissem capitais próprios na recuperação e aquisição de novas estufas, realizando seguros.

A par da CA Seguros, outras empresas foram contactadas, tendo-se constatado procedimentos muito distintos.

A Liberty Seguros referiu não possuir um serviço específico, para as estruturas das estufas, uma vez que as análises de risco normalmente inviabilizavam o seguro. Porém referiram que têm realizado seguros para as estruturas de estufas, quando esses clientes possuem outro tipo de seguros com a Liberty.

Na Zurich Insurance Group Ltd apesar de existir um seguro adequado à agricultura alimentar, a avaliação da análise de risco impossibilita, na maioria dos casos, a adesão de alguns possíveis clientes. O documento com as condições gerais e especiais apresenta muitas semelhanças com o referido pela CA, contudo fazem a ressalva de existir a necessidade de preenchimento de um questionário e apreciação do risco por parte da seguradora. O questionário procura caracterizar o local de risco, através da localização geográfica e caracterização do clima, relevo e cursos de água. Para além disso, este documento engloba a caracterização da estufa, abrangendo parâmetros geométricos da estrutura, assim como a referência aos fabricantes tanto dos elementos estruturais, como do revestimento.

Procedimentos semelhantes possui a Mapfre Seguros, Companhia de Seguros Tranquilidade, S.A., Lusitania Companhia de Seguros, S.A., Companhia de Seguros Allianz Portugal S.A. e Generali, que para além de um questionário exaustivo solicitam documentos que certifiquem a garantia da construção da estufa e a validade dos materiais existentes (ferro, vidro, plásticos, etc.), assim como documentos onde sejam referidas as especificações técnicas do construtor/fornecedor e a vida útil de todos os elementos construtivos e máquinas, que deverão ser indicadas pelos fabricantes. A par destes documentos são acrescentadas fotografias que caracterizem as estufas e equipamentos a segurar.

Para além das empresas de seguros que habitualmente trabalham no mercado português, a Haglunie, empresa Holandesa, desenvolve o seu trabalho de seguros de estufas em diversos países europeus, nomeadamente na Holanda, Reino Unido, Espanha e Portugal. O agente de seguros que representa a empresa em Portugal, referiu que esta contacta habitualmente com diferentes realidades, o que resultou num seguro de estruturas de estufas diferentes do praticado, em Portugal. Por exemplo, em caso de danos estruturais para além do financiamento para a recuperação da estufa, eles fornecem apoio ao nível da reposição das culturas inviabilizadas. A ideia da empresa é que no caso de facultarem o financiamento a curto prazo, os agricultores podem voltar rapidamente ao circuito comercial e também eles não perdem um cliente. O contrário pode levar os produtores a fecharem a empresa por dificuldade em investir rapidamente com capitais próprios, mesmo sabendo que podem ser ressarcidos pelas empresas de seguros.

Relativamente aos valores envolvidos nos seguros de estufas foi-nos facultada a cotação por duas seguradoras: CA e Haglunie. Para a primeira empresa, o prémio anual corresponde a 8% do valor da estufa com o revestimento e equipamentos incluídos, ao passo que para a empresa holandesa, o prémio diminui, correspondendo a 6%. Nos valores cedidos pela empresa Haglunie encontrava-se também o prémio referente à cultura, que corresponde a 7% do volume anual de cultivo.

Se por um lado a CA referiu não existir muita procura por parte dos agricultores, as restantes empresas de seguros mencionaram que a baixa robustez das estruturas é o principal fator para que as seguradoras realizem análises de risco incomportáveis.

A Horpozim por sua vez refere que os associados não aderiam aos seguros, porque na maioria dos casos não viam necessidade, uma vez que sempre que ocorreram situações danosas, o estado financiava a recuperação. A própria associação no último ano organizou uma formação, em conjunto com a CA, para sensibilizar os associados para os benefícios de terem seguros de estufa e de colheita, mas não foram obtidos resultados práticos.



## 5

## VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS DE ESTUFAS

### 5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os concelhos da Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende têm uma vasta tradição no sector hortícola. Recentemente com a utilização de estufas que permitem proteger o cultivo das situações adversas, a região obteve um crescimento considerável.

As empresas de construção de estufas, por norma, possuem vários modelos *standard* de estufas, variando a forma da sua cobertura ou material utilizado. Assim sendo, optou-se por escolher um modelo, que foi referido como o mais solicitado pelos produtores: estufa túnel de arco redondo, com paredes laterais (ver Fig. 11).

As estufas em estudo são classificadas segundo a norma EN 13031-1 como sendo de classe B, porque os deslocamentos ocorridos na estrutura são suportados pelo material de revestimento, sendo neste caso o filme plástico. Nas estruturas assume-se que não serão introduzidos ventiladores zenitais, nem caleiras de modo a estudar a situação mais frágil, ao nível das estruturas existentes no mercado.

No presente estudo foram considerados 4 modelos, em função das informações obtidas pelos construtores. As estruturas são compostas por pórticos modulares, com coberturas em arco afastados de 2,5 m entre eles, ao longo de 100 m. As secções dos pilares variam de modelo para modelo, assim como o diâmetro e espessura dos diferentes elementos dos arcos. A estufa possui ainda 10 m de largura e 5.2 m de altura, sendo que 3m correspondem à altura dos pilares e 2.2 m à altura do arco. No Quadro 24 encontram-se as dimensões das secções dos diferentes elementos estruturais.

Quadro 24 – Dimensões das secções dos diferentes elementos estruturais, para cada modelo.

Elementos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Pilares	○ Ø80 e=2.5	□ b=60 e=3.0	□ b=60 e=2	□ b=80 e=2.0
Travamento	○ Ø40 e=1.5	○ Ø40 e=2.0	○ Ø40 e=2.0	○ Ø40 e=1.5
Pendurais	○ Ø30 e=1.5	○ Ø40 e=2.0	-	○ Ø32 e=1.5
Diagonais	○ Ø30 e=1.5	-	○ Ø40 e=2.0	○ Ø32 e=1.5
Arco	○ Ø50 e=2.0	○ Ø60 e=2.0	○ Ø60 e=1.5	○ Ø60 e=1.5

A principal diferença nos pórticos das estruturas de estufa, verificadas nos diferentes construtores, encontra-se na disposição dos travamentos e pendurais dos arcos. A Fig. 30 ilustra os modelos representativos das estruturas estudadas.

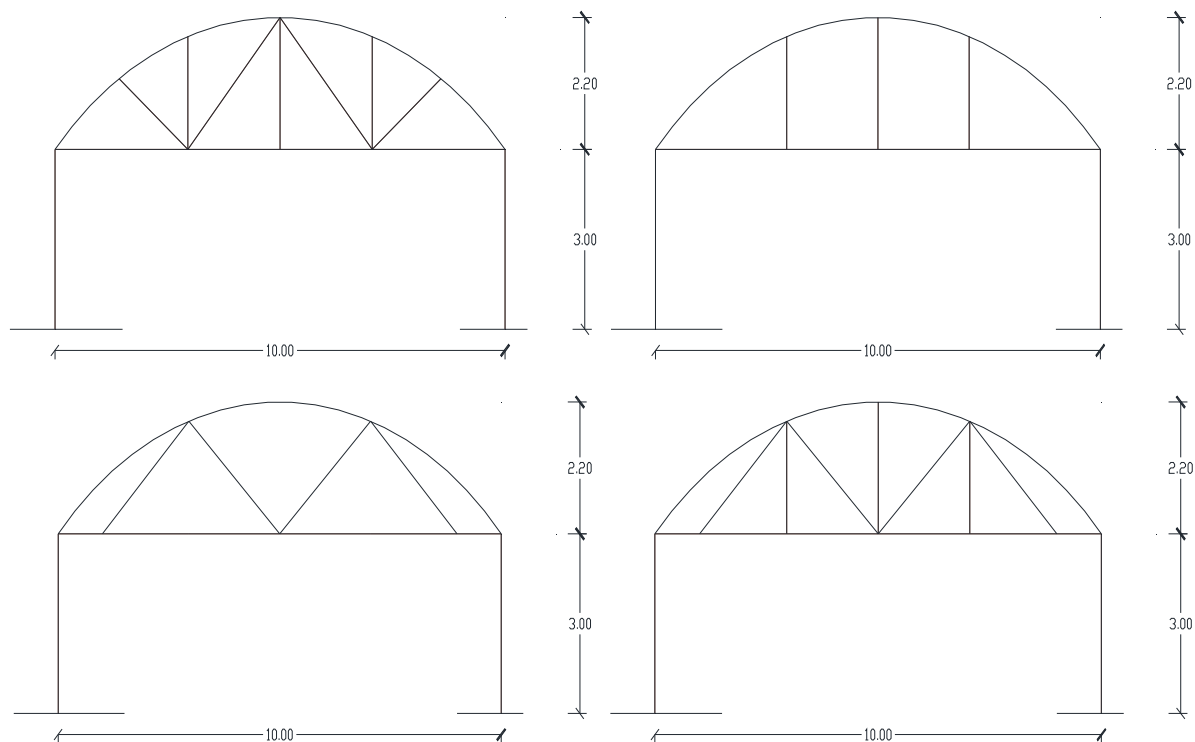


Fig. 30 – Pórticos utilizados pelas diferentes construtoras de estufas: modelo 1 (em cima à esquerda), modelo 2 (em cima à direita), modelo 3 (em baixo à esquerda) e modelo 4 (em baixo à direita).

## 5.2. AÇÕES SOBRE A ESTRUTURA

Para a análise da estrutura em causa devem ser consideradas as ações permanentes  $G_{k1}$ , as ações presentes permanentemente  $G_{k2}$ , a ação do vento,  $Q_{k1}$ , e a ação das culturas  $Q_{k3}$ . A quantificação destas ações foi baseada nas disposições da norma EN 13031-1, como referido no Capítulo 3.

### 5.2.1. AÇÕES PERMANENTES, $G_{k1}$

Todas as ações a que a estrutura está sujeita permanentemente após a conclusão da construção foram englobadas neste grupo, tal como o peso próprio da estrutura. Contudo, por indicação da referida norma, não foram incluídas as cargas associadas aos equipamentos, mesmo quando usados de forma permanente.

### 5.2.2. AÇÕES PRESENTES PERMANENTEMENTE $G_{k2}$

Neste grupo apenas foram incluídas as ações resultantes do equipamento de irrigação, uma vez que é uma estrutura de Classe B e não se pretende usar equipamentos de sombreamento. Para o equipamento de irrigação suportado por cabos, a norma refere que se deve considerar pelo menos 1250 N por cabo.

Assim, foram definidas 5 cargas com o valor de 0.031 kN, tendo em conta que se definiram espaçamentos entre pilares de 2.5m.

### 5.2.3. AÇÃO DO VENTO $Q_{K1}$

A quantificação da ação do vento envolve sempre uma complexidade assinalável. Para um correto estudo implicaria a construção de um modelo e a execução de ensaios em túnel de vento, contudo não se justifica para o presente estudo.

Na quantificação da ação foi utilizado o EC1, contudo a norma 13031-1 complementou a metodologia através de alguns aspetos inerentes às estruturas de estufas. No Anexo I encontram-se os dados complementares do cálculo da ação do vento.

#### 5.2.3.1. Categoria do terreno

No presente trabalho considerou-se o terreno como sendo de categoria II, isto é, “zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separação entre si de, pelo menos, 20 vezes a altura”, o que corresponde à faixa costeira de Entre o Douro e Minho.

A zona que envolve os associados da Horpozim caracteriza-se pelo baixo desnível, em especial na faixa costeira, por áreas com pouca arborização e por ventos provenientes do oceano Atlântico.

#### 5.2.3.2. Valor de referência da velocidade do vento

Segundo o ponto 4 da norma NP EN 1991-1-4, o valor de referência da velocidade do vento foi determinado assumindo um coeficiente de direção ( $c_{dir}$ ) e de sazão ( $c_{season}$ ), ambos iguais a 1.0. Por sua vez, o valor básico da velocidade do vento ( $v_{b,0}$ ) adotado foi de 30 m/s, como referido no Anexo Nacional, para “regiões situadas numa faixa costeira com 5km de largura” (Zona B).

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s} \quad (2)$$

#### 5.2.3.3. Vento médio

Ainda no mesmo Eurocódigo, no ponto 4, a expressão de cálculo do vento médio em função de uma altura  $z$  ( $v_m(z)$ ) é:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_v \quad (3)$$

Para a determinação de  $v_m(z)$  assumiu-se um coeficiente de orografia igual a 1.0, dado que a inclinação do terreno considerado é inferior a 5%. Para o cálculo do coeficiente de rugosidade,  $c_r(z)$ , considerou-se  $z_0 = 0,05$  e  $z_{min} = 3$  m, sendo que:

$$c_r(z) = K_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{para } z < z_{min} \quad (5)$$

Em que,

$$K_r = 0.19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.19} \quad (6)$$

No Quadro seguinte encontram-se os valores do vento médio para cada altura. No quadro  $z_i$  diz respeito à altura da construção e  $z_e$  à altura equivalente da estrutura. Por sua vez,  $z_e$  representa o valor médio entre a altura total da construção e a altura do pilar lateral, porém não poderá ser inferior a 0.75 da altura total.

Quadro 25 – Dados referentes a  $z_0$ (m),  $z_{min}$ (m),  $K_r$ ,  $c_r(z)$ ,  $v_m(z)$  (m/s).

$z$ (m)	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)	$K_r$	$c_r(z)$	$v_m(z)$ (m/s)
1.00	0.05	3.00	0.19	0.78	23.34
2.00	0.05	3.00	0.19	0.78	23.34
3.00	0.05	3.00	0.19	0.78	23.34
4.00	0.05	3.00	0.19	0.83	24.98
4.10*	0.05	3.00	0.19	0.84	25.12
5.00	0.05	3.00	0.19	0.87	26.25
5.20**	0.05	3.00	0.19	0.88	26.47
6.00	0.05	3.00	0.19	0.91	27.29

\*  $z = z_e$

\*\*  $z = z_i$

#### 5.2.3.4. Intensidade de turbulência do vento

A intensidade de turbulência do vento  $I_v(z)$  é também definida pelo quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento, em função da altura, sendo:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{m\acute{a}x} \quad (7)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{para } z < z_{min} \quad (8)$$

Em que o valor de  $k_I$  recomendado pelo Anexo Nacional é de 1.0.



### 5.2.3.5. Pressão dinâmica de pico

A pressão dinâmica de pico,  $q_p(z)$ , foi calculada com base na simplificação da expressão:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_p \quad (9)$$

Em que a pressão dinâmica de referência,  $q_p$ , foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$q_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (10)$$

O coeficiente de exposição,  $c_e(z)$ , obtido com auxílio da Figura NA – 4.2, presente no Anexo Nacional, onde em função do terreno de categoria II e da altura,  $z$ , se obtiveram os valores de  $c_e(z)$ . No Quadro 26 encontram-se os valores referentes à pressão dinâmica do vento, em função da altura  $z$  pré-definida.

Quadro 26 – Valores do coeficiente de exposição,  $c_e(z)$ , pressão dinâmica de referência,  $q_p$  e pressão dinâmica de pico,  $q_p(z)$  em função da altura  $z$ .

$z$ (m)	$c_e(z)$	$q_p$	$q_p(z)$ (N/m <sup>2</sup> )
1.00	1.64	340.41	558.27
2.00	1.64	340.41	558.27
3.00	1.64	340.41	558.27
4.00	1.70	389.92	662.87
4.10*	1.71	394.33	674.31
5.00	1.80	430.65	775.16
5.20**	1.83	438.01	801.56
6.00	1.95	465.42	907.57
* $z = z_e$			
** $z = z_i$			

### 5.2.3.6. Pressões exterior e interior devidas ao vento

A ação do vento na estrutura e os seus elementos de construção são resultado das pressões exercidas nas superfícies exteriores ( $w_e$ ) e interiores ( $w_i$ ) devidas ao vento.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (11)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (12)$$

Para a determinação de ambas as pressões exercidas pelo vento foram adotados coeficientes de pressão, os quais se encontram tabelados na norma EN 13031-1 em função da classe de estufa e da forma da cobertura escolhida.

No Quadro 27 e Quadro 28 encontram-se os valores referentes aos coeficientes de pressão externo ( $c_{pe}$ ) e interno ( $c_{pi}$ ) das paredes e do arco. Para todos os elementos estruturais referidos existem  $c_{pe}$  para a ação do vento a atuar longitudinalmente ( $90^\circ$ ) ou transversalmente ( $0^\circ$ ), contudo para a o estudo em questão apenas serão usados os valores referentes à ação na parede lateral e no arco da cobertura.  $\theta$ , como foi referido no subcapítulo 3.3.1., diz respeito ao ângulo entre a horizontal e o raio (ver Fig. 16).

Quadro 27 – Coeficientes de pressão externos referentes a uma estufa túnel, com paredes laterais.

Direção do vento	Zona da estufa, Arco - $\theta$	$c_{pe}$	$w_e$ (N/m <sup>2</sup> )
$0^\circ$	$<55^\circ$	0.30	202.29
	$55^\circ - 115^\circ$	-1.00	-674.31
	$115^\circ - 180^\circ$	-0.40	-269.72
Direção do vento	Zona da estufa Parede	$c_{pe}$	$w_e$ (N/m <sup>2</sup> )
$0^\circ$	$h/s \leq 0.4$ K	0.60	404.58
	L	-0.30	-202.29

Quadro 28 – Coeficientes de pressão internos referentes a uma estufa túnel, com paredes laterais.

Direção do vento	$c_{pi}$	$w_i$ (N/m <sup>2</sup> )
$0^\circ$	0.20	134.86
	-0.40	-269.72

#### 5.2.3.7. Forças exercidas pelo vento

As forças exercidas pelo vento podem ser determinadas com base nos coeficientes de força ou das pressões da superfície, tendo sido este último procedimento, o adotado no presente trabalho.

As forças exteriores, interiores e de atrito são calculadas utilizando as seguintes expressões:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum w_e A_{ref} \quad (13)$$

$$F_{w,i} = \sum w_i A_{ref} \quad (14)$$

Em que o termo  $c_s c_d$  utilizado foi igual à unidade, uma vez que na determinação do coeficiente de dimensão,  $c_s$ , o coeficiente de resposta quase-estática  $B^2$ , por motivos de segurança, é igual a 1.0, como referido na norma NP EN 1991-1-4. Por sua vez, o coeficiente dinâmico,  $c_d$ , também é igual à unidade, tal como é sugerido na norma EN 13031-1. No Quadro 29 encontram-se os valores de  $F_{w,e}$  e  $F_{w,i}$ , obtidos para cada zona do pórtico estudado.

Quadro 29 – Forças exteriores,  $F_{w,e}$  e interiores,  $F_{w,i}$ , obtidas no presente trabalho, tanto para o arco como para as paredes.

Zona da estufa, arco – $\theta$	$F_{w,e}$ (kN)	$F_{w,i}$ (kN)	$F_w$ (kN)
<55°	2.11	1.90	4.01
55° - 90°	-2.44	1.90	-0.55
90° - 115°	-1.69	-3.80	-5.48
115° - 180°	-3.12	-3.80	-6.92
Zona da estufa Parede	$F_{w,e}$ (kN)	$F_{w,i}$ (kN)	$F_w$ (kN)
K	3.03	1.01	4.05
L	-1.52	-2.02	-3.54

#### 5.2.4. AÇÃO DAS CULTURAS $Q_{k3}$

Relativamente à ação das culturas na estrutura considerou-se um valor mínimo para culturas como tomates e pepinos de 0.15 kN/m<sup>2</sup>. O cálculo da força horizontal por fio transmitidas à estrutura é de:

$$F_{wire} = q_{k3} a \frac{I_{wire,sup}^2}{8 u_{wire}} = 0.15 \times 2 \times \frac{2.5^2}{8 \times 0.08} = 2.82 \text{ kN} \quad (15)$$

Em que  $I_{wire}$  diz respeito ao afastamento entre os apoios dos fios,  $a$  representa o afastamento entre os fios e a deformada do fio carregado,  $u_{wire}$ , é obtida de acordo com a seguinte expressão:

$$u_{wire} = \frac{I_{wire}}{30} = \frac{2.5}{30} = 0.08 \text{ m} \quad (16)$$

A força do cabo de  $F_{wire}$  é igual a 2.82 kN e corresponde a 5 forças aplicadas na barra horizontal de 0.18 kN.



Fig. 31 – Exemplo da ação das culturas. À esquerda estufa com plantação de tomates e à direita cabos de sustentação dos tomates.

#### 5.2.5. AÇÃO DO FILME PLÁSTICO NO ARCO

Para a determinação da ação resultante do filme plástico, utilizado como revestimento das estufas, no arco, adotou-se o procedimento apresentado no Anexo I da norma EN 13031-1.

Os dados de tensão do filme plástico utilizados foram baseados nos valores fornecidos por Briassoulis (1997a), porque os construtores não conseguiram facultar o valor da pré-tensão aplicada no plástico na construção da estufa.

Os valores referentes da ação do vento encontram-se no sub-capítulo 5.1.2., enquanto que os valores da ação devidos à pré-tensão do filme plástico foram calculados segundo a teoria do estado de tensões para estruturas tubulares de paredes delgadas:

$$\sigma = \frac{pr}{t} \leftrightarrow p = \frac{\sigma t}{r} = \frac{N}{r} \leftrightarrow q = \frac{N}{r} \quad (17)$$

Em que  $\sigma$  corresponde à tensão tangencial,  $p$  representa a diferença entre a pressão interna e a externa,  $r$  o raio,  $t$ , a espessura do material de revestimento,  $N$ , o esforço atuante e  $q$ , a ação da pré-tensão do plástico.

O filme plástico adotado tem 0.20 mm de espessura e  $\sigma_u=20$  MPa (Briassoulis, D. [et al.], 1997a). Tendo em conta que a colocação do filme plástico não é precisa e pode desenvolver tensões variáveis, considerou-se uma tensão igual a 0.50  $\sigma_u$  na direção transversal. Para além disso, como foi referido anteriormente, este valor também salvaguarda a pré-tensão variável que é uma consequência do período do ano em que é colocada, isto é, Verão ou Inverno. No Quadro 30 encontram-se os valores referentes à ação do vento e da pré-tensão do filme plástico.

Quadro 30 – Ação do vento e da pré-tensão do plástico, assim como a resultante destas duas forças (kN), em função da zona do arco da estufa.

Zona da estufa, $\theta$	Ação do vento (kN/m)	Ação da pré-tensão (kN/m)	Resultante (kN/m)
0°-55°	0.34	0.80	1.14
55°-90°	-0.54	0.91	0.37
90°-115°	-0.94	0.91	-0.03
115°-180°	-0.54	0.84	0.30

A resultante obtida permite-nos verificar que a zona da cobertura mais frágil está localizada entre os 90° e os 115°, em relação à parede onde atua o vento, desenvolvendo-se ações de sucção nesta secção do arco.

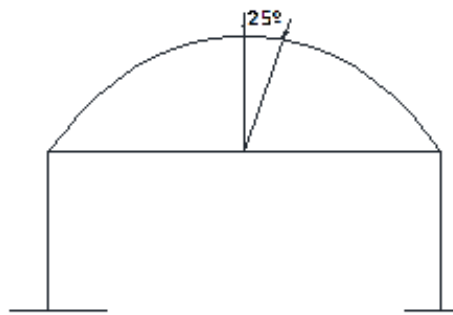


Fig. 32 – Secção do arco onde se desenvolvem forças de sucção (em m).

Quando ocorrem estas situações, a norma disponibiliza uma correção, em que ocorre uma transferência das forças de pré-tensão atuantes no arco, que provocam a compressão, para as restantes zonas do arco em tração.

Quadro 31 – Ação do vento e da pré-tensão do plástico, assim como a resultante destas duas forças (kN), em função da zona do arco da estufa (ver Fig. 16).

Zona da estufa, $\theta$	Ação do vento (kN/m)	Ação da pré-tensão (kN/m)	Resultante (kN/m)
0°-55°	0.34	1.15	1.49
55°-90°	-0.54	1.31	0.77
90°-115°	-0.94	1.31	0.37
115°-180°	-0.54	1.22	0.68

Na segunda iteração constatou-se que não existia nenhuma força de sucção, tendo sido esses os valores adotados no modelo das estufas. Na Fig. 33 estão representadas a ação do vento e a pré-tensão consideradas no modelo estrutural.

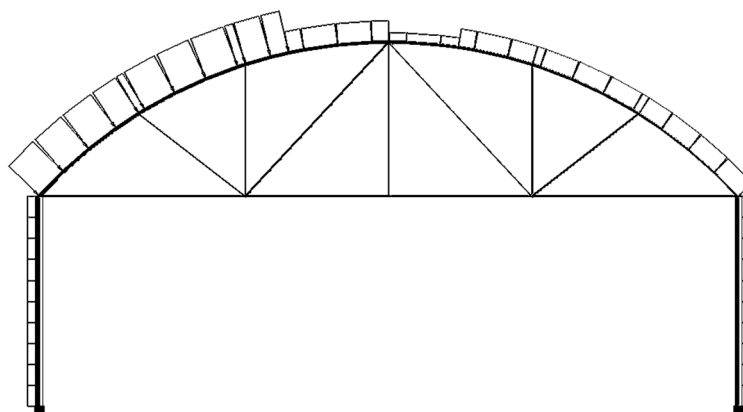


Fig. 33 – Representação da ação do vento e pré-tensão no modelo estrutural.

No Anexo I encontram-se os dados complementares do cálculo da ação do vento com o filme plástico.

### 5.3. COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

Após serem determinadas as ações relevantes para o cálculo da estrutura, foram definidas as combinações de solicitações passíveis de ocorrer em simultâneo. Tal como referido no Capítulo 3, para as estufas de Classe B apenas são considerados os ELU.

#### 5.3.1. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Na análise do ELU foram consideradas as ações possíveis de ocorrerem ao mesmo tempo. Para tal, consideram-se combinações de base e ações secundárias, de modo a englobar todas as possibilidades e assim determinar as ações mais gravosas para a estrutura da estufa.

5.3.1.1. Vento como ação de base e ação do cultivo como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando desfavoravelmente

$$\text{Combinação "a1}_{\text{desf}} = 1.2G_{k1} + 1.2G_{k2} + 1.2Q_{k1} + 1.0 \times 1.2 \times Q_{k3}$$

5.3.1.2. Vento como ação de base e ação do cultivo como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando favoravelmente

$$\text{Combinação "a1}_{\text{fav}} = 1.0G_{k1} + 1.0G_{k2} + 1.2Q_{k1} + 1.0 \times 1.2 \times Q_{k3}$$

5.3.1.3. Culturas como ação de base e ação do vento como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando desfavoravelmente

$$\text{Combinação "a3}_{\text{desf}} = 1.2G_{k1} + 1.2G_{k2} + 1.2Q_{k1} + 1.0 \times 1.2 \times Q_{k3}$$

5.3.1.4. Culturas como ação de base e ação do vento como ação secundária, com ação permanente e das instalações atuando favoravelmente

$$\text{Combinação "a3}_{\text{fav}} = 1.0G_{k1} + 1.0G_{k2} + 1.2Q_{k1} + 1.0 \times 1.2 \times Q_{k3}$$

5.3.1.5. Ação do vento e ação do permanente desfavorável

$$\text{Combinação "b1}_{\text{desf}} = 1.2G_{k1} + 1.2Q_{k1}$$

5.3.1.6. Ação do vento e ação permanente favorável

$$\text{Combinação "b1}_{\text{fav}} = 1.0 + 1.2Q_{k1}$$

## 5.4. ESTADO LIMITE ÚLTIMO DA ESTUFA AGRÍCOLA EM ESTRUTURA METÁLICA

### 5.4.1. CLASSIFICAÇÃO DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS

A classificação das secções foi realizada com base no EC3. Contudo, em relação às secções tubulares circulares, a norma EN 13031-1 possui algumas particularidades. Assim sendo, os diferentes elementos utilizados para a modelação das diferentes estruturas foram classificados em classe 1 e 2, para secções tubulares circulares e classe 1, para secções tubulares de secção quadradas. No Quadro 32 encontram-se também os valores de tensão de cedência ( $f_{y;eq}$ ) e o módulo de elasticidade equivalentes ( $E_{eq}$ ), visto que, para:

$$\begin{aligned} 25\varepsilon^2 < d_{\max}/t \leq 50\varepsilon^2 \quad \begin{aligned} E_{eq} &= E \\ f_{y;eq} &= f_y \end{aligned} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} 50\varepsilon^2 < d_{\max}/t \leq 70\varepsilon^2 \quad \begin{aligned} E_{eq} &= E \\ f_{y;eq} &= f_y (f_{ref}/f_y)^{0.45} \end{aligned} \end{aligned} \quad (19)$$

Em que,

$$f_{y;eq} = 11750(t/d_{\max}) \quad (20)$$

Quadro 32 – Classificação da secção transversal, tensão de cedência ( $f_y$  em Mpa) e módulo de elasticidade ( $E$  em Mpa), em função dos diferentes elementos estruturais utilizados, nos 4 modelos.

Elementos	Classe	E ou $E_{eq}$ (Mpa)	$f_y$ ou $f_{y,eq}$ (Mpa)
○ Ø80 e=2.5	1 e 2	178.50	235.00
○ Ø60 e=2.0	1 e 2	178.50	235.00
○ Ø60 e=1.5	1 e 2	178.50	235.00
○ Ø50 e=2.0	1 e 2	210.00	235.00
○ Ø40 e=1.5	1 e 2	178.50	235.00
○ Ø40 e=2.0	1 e 2	210.00	235.00
○ Ø40 e=1.5	1 e 2	178.50	235.00
○ Ø32 e=1.5	1 e 2	210.00	235.00
○ Ø30 e=1.5	1 e 2	210.00	235.00
□ b=60 e=3.0	1	210.00	235.00
□ b=60 e=2.0	1	210.00	235.00
□ b=80 e=2.0	1	210.00	235.00

#### 5.4.2. REQUISITOS PARA A VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DO ARCO

No estudo do ELU do arco de estufas de classe B teve-se em consideração as imperfeições geométricas equivalentes, tendo em conta as diferentes combinações de ações. Por indicação da norma considerou-se uma força horizontal de  $V/50$ , na cumeeira da estufa, em que  $V$  correspondia à força vertical total, para cada uma das combinações de ações. A força aplicada variou de acordo com a estrutura e as combinações adotadas.

Quadro 33 – Valor de  $F_{Ed}$  total (kN) de cada modelo e combinação de ação e a força horizontal aplicada.

Modelo	Esforços	$a1_{fav.}$	$a1_{desf.}$	$a3_{fav.}$	$a3_{desf.}$	$b1_{fav.}$	$b1_{desf.}$
M1	$V_{Ed}$ (kN)	30.670	30.870	19.720	19.920	28.250	28.410
	$V_{Ed}/50$ (kN)	0.613	0.617	0.394	0.398	0.565	0.568
M2	$V_{Ed}$ (kN)	30.705	30.920	19.746	19.951	28.275	28.451
	$V_{Ed}/50$ (kN)	0.614	0.618	0.395	0.399	0.566	0.569
M3	$V_{Ed}$ (kN)	30.514	30.682	19.555	19.721	28.084	28.222
	$V_{Ed}/50$ (kN)	0.610	0.614	0.391	0.394	0.562	0.564
M4	$V_{Ed}$ (kN)	30.683	30.884	19.723	19.925	28.253	28.424
	$V_{Ed}/50$ (kN)	0.614	0.618	0.395	0.399	0.565	0.569



De modo a compreender qual seria o melhor método de análise a optar obtiveram-se os fatores de encurvadura  $\alpha_{cr}$ , para os diferentes casos dos quatro modelos.  $\alpha_{cr}$  representa o fator pelo qual as ações de cálculo terão de ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica da estrutura num modo global envolvendo deslocamentos laterais da estufa.

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (21)$$

Para a realização das análises estruturais dos modelos apresentados utilizou-se o programa Autodesk Robot.

Na verificação da análise global das estruturas anteriormente apresentadas, constatou-se que  $\alpha_{cr} < 3$ , o que, de acordo com a norma EN 13031-1 não verifica a estabilidade da estrutura. Segundo o EC3, tal situação implica a rigidificação da estrutura dados os elevados níveis de efeitos de segunda ordem esperados na estrutura. No Quadro 34, encontram-se os valores referentes a  $\alpha_{cr}$  para cada um dos modelos e combinações de ações.

Quadro 34 – Valores de  $\alpha_{cr}$  para cada um dos modelos e combinações de ações.

Modelo	a1 <sub>fav.</sub>	a1 <sub>desf.</sub>	a3 <sub>fav.</sub>	a3 <sub>desf.</sub>	b1 <sub>fav.</sub>	b1 <sub>desf.</sub>
M1	2.771	2.784	4.384	4.352	2.985	2.973
M2	1.619	1.626	2.574	2.559	1.729	1.723
M3	1.735	1.742	2.739	2.722	1.884	1.878
M4	2.980	2.991	4.723	4.693	3.209	3.198

O  $\alpha_{cr}$  mais desfavorável de cada modelo correspondeu ao primeiro modo observado, sendo que a combinação “a1<sub>fav.</sub>”, é aquela que apresenta o fator de encurvadura menor. Constatou-se que os modelos não evidenciaram estabilidade e robustez da estrutura, sendo que os modelos M2 e M3 são aqueles que apresentam maior sensibilidade aos efeitos de segunda ordem. O modo referido afeta significativamente os pilares, o que vem confirmar os danos observados nas estufas danificadas, com exceção do modelo M3 no qual a deformada mobiliza, fundamentalmente, os elementos estruturais do arco (ver Fig. 34, 35 36 e 37).

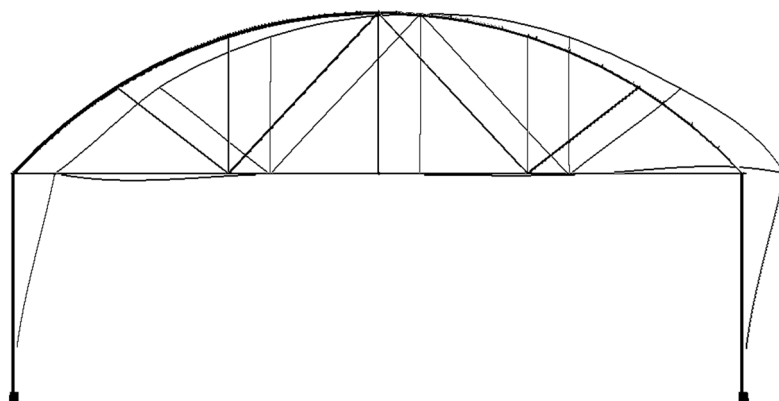


Fig. 34 – Deformada do modelo M1, correspondente ao  $\alpha_{cr}=2.771$ .

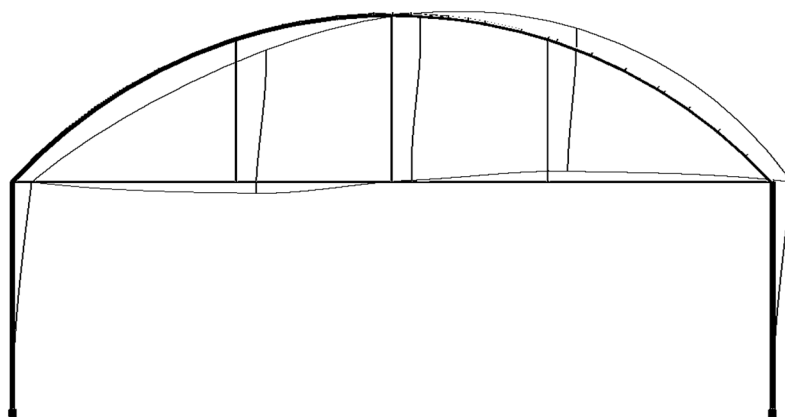


Fig. 35 – Deformada do modelo M2, correspondente ao  $\alpha_{cr}=1.619$ .

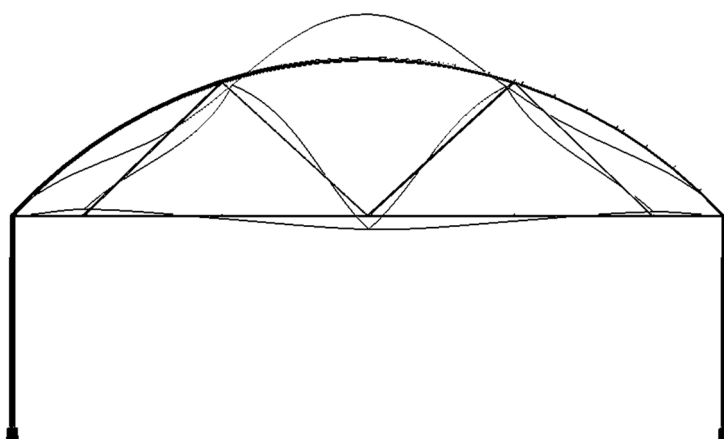
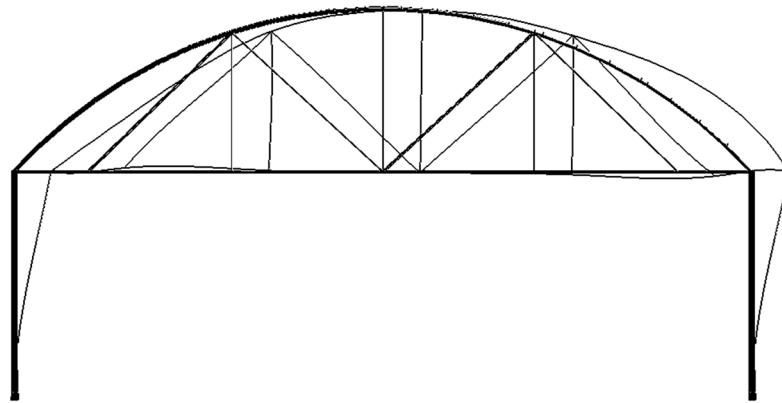


Fig. 36 – Deformada do modelo M3, correspondente ao  $\alpha_{cr}=1.735$ .

Fig. 37 – Deformada do modelo M4, correspondente ao  $\alpha_{cr}=2.980$ .

Uma alternativa à análise de segunda ordem foi aumentar o valor  $\alpha_{cr}$  de modo a respeitar o valor mínimo imposto pela norma EN 13031-1. Para tal realizaram-se diversas alterações às secções dos pilares, tanto em termos do diâmetro e dimensão do lado do quadrado, como na espessura dos elementos estruturais.

Para além disso, foi verificado se os pilares resistiam aos esforços resultantes de cada combinação. A verificação de segurança em relação ao esforço transversal e ao esforço axial de compressão foi constatada nas quatro estruturas. No entanto, o mesmo não se observou na verificação em relação ao momento fletor, já que o esforço resistente era inferior ao atuante ( $M_{Rd} < M_{Ed}$ ) (ver Quadro 35).

Quadro 35 – Valores dos momentos atuantes ( $M_{Ed}$ ) e resistentes ( $M_{Rd}$ ).

Modelo	$M_{Ed}$	$M_{Rd}$
M1	6.59	2.70
M2	9.94	3.29
M3	7.44	2.30
M4	8.17	4.18

Assim sendo, com base no módulo de flexão plástico ( $W_{pl}$ ) obtido com base no momento resistente, obtiveram-se novas secções.

As soluções finais resultaram em secções que verificavam tanto o critério de  $\alpha_{cr} > 3$ , como o facto dos esforços atuantes serem inferiores aos resistentes. No Quadro 36 encontram-se as diferentes soluções obtidas para cada uma das estruturas. Para o modelo M3 não foram encontradas secções que respeitassem os critérios referidos.

Quadro 36 – Secções para os pilares, dos diferentes modelos, cumprindo  $\alpha_{cr} < 3$ .

Modelo	Dimensões da secção (mm)	$\alpha_{cr}$
M1	$\varnothing = 100 ; e = 3$	3.084
	$\varnothing = 110 ; e = 2.5$	3.098
	$B = 90 ; e = 3$	3.106
	$B = 100 ; e = 2$	3.101
M2	$B = 100 ; e = 4$	3.001
	$B = 110 ; e = 3$	3.004
M4	$B = 100 ; e = 2.5$	3.086
	$B = 120 ; e = 2$	3.119

Para cada um dos modelos, encontraram-se secções diferentes, no entanto para um  $B=100$  mm, o modelo que consegue adotar uma espessura menor e por isso mais económica é o modelo M4. Tal facto leva-nos a concluir que a disposição dos elementos estruturais no arco do modelo M4 é a forma mais otimizada.

Um aspeto importante para os clientes, em qualquer setor comercial, é o valor de custo do bem adquirido. A alteração das secções provocou um acréscimo importante ao nível da quantidade de aço por unidade de área das estruturas (pilares e elementos do arco). O consumo do aço do modelo inicial de cada tipo de estrutura encontra-se no Quadro 37, assim como a quantidade de aço de cada secção proposta e o acréscimo percentual do material.

Quadro 37 – Consumo de aço por unidade de área, em função da secção e o acréscimo percentual em relação à secção original de cada modelo.

Modelo	Dimensões da secção (mm)	Consumo de aço (kg/m <sup>2</sup> )	Acréscimo (%)
M1	$\varnothing = 100 ; e = 3.0$	3.98	17
	$\varnothing = 110 ; e = 2.5$	3.85	13
	$B = 90 ; e = 3.0$	4.23	24
	$B = 100 ; e = 2.0$	3.74	10
M2	$B = 100 ; e = 4.0$	5.00	47
	$B = 110 ; e = 3.0$	4.53	33
M4	$B = 100 ; e = 2.5$	4.15	19
	$B = 120 ; e = 2.0$	4.09	17

No modelo M1 sugere-se também a alteração da forma da secção. O tubo de secção quadrada apresente maiores benefícios do que a secção circular, permitindo que com uma quantidade de aço idêntica se obtenham níveis de segurança superiores, porque é possível utilizar espessuras inferiores.

Porém, a adoção de secções quadradas em detrimento das circulares pode ser prejudicial ao nível do sombreamento, porque a diagonal de uma secção quadrangular é superior ao diâmetro, quando o diâmetro e o lado B são iguais.

Relativamente ao M3, a modificação da secção não apresentou melhorias ao nível da secção. É perentório que caso as dimensões das secções dos pilares das estufas fossem elevadas os critérios seriam cumpridos. No entanto, este aumento iria afetar a produção devido ao aumento do sombreamento e diminuição do efeito de radiação. Alternativa encontrada foi modificar a disposição dos elementos construtivos no arco. Como se pode observar na Fig. 30, o modelo M3 é uma estrutura simplificada do M4. O facto de se colocar um pendural a meio vão permite que o  $\alpha_{cr}$  da combinação  $a_{1_{fav}}$  aumente de 1.735 para 2.008. Contudo a adoção de uma estrutura como o modelo M4 deverá ser a solução mais adequada, mesmo necessitando de alterar as dimensões das secções dos pilares.

Outra forma de modificar a rigidez das estruturas e, por conseguinte, de aumentar a segurança face a situações de ELU, consiste em utilizar contraventamentos nos pilares e alterar a forma dos elementos estruturais do arco. As alternativas apresentadas na Fig. 38 e 39 possuem os elementos tubulares originais do modelo M4.

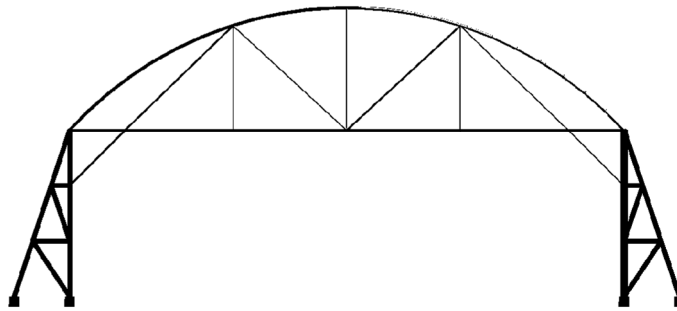


Fig. 38 – Solução alternativa adotando um contraventamento inclinado.

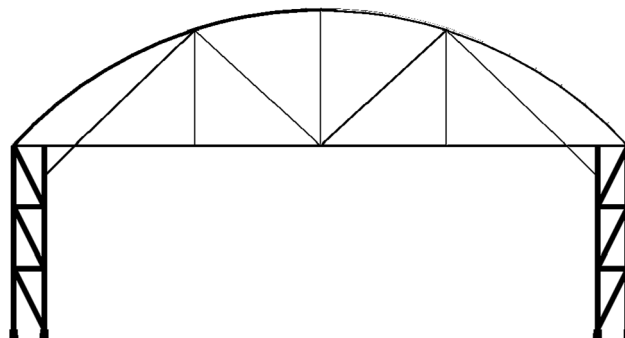


Fig. 39 – Solução alternativa adotando uma treliça ao longo dos pilares.

A primeira solução poderá beneficiar em relação à segunda, uma vez que esta terá um efeito aerodinâmico. No entanto, é necessário que o produtor esteja ciente do seu contributo e que disponibilize terreno. Em alternativa, a segunda estrutura será favorável para quando o produtor não esteja disposto a facultar terreno de cultivo, ou por outro lado, não possua terreno para desenvolver a estrutura de contraventamento. Os valores de  $\alpha_{cr}$  obtidos foram de 4.256 e 4.318, respetivamente, o que demonstra que ambos os modelos apresentam maior rigidez e, por conseguinte, menor

sensibilidade aos efeitos de segunda ordem. Quando se analisa o acréscimo percentual de utilização de aço, constata-se que há um aumento de 75% (6.09 kg/m<sup>2</sup>), na estrutura da Fig. 38 e de 86% (6.48 kg/m<sup>2</sup>) da Fig. 39, o que leva a constatar que a solução otimizada é a primeira.

Para além da alteração ao nível dos pilares, a utilização de uma treliça no arco poderá ser uma situação alternativa, pois permite que a solução obtenha maior estabilidade ( $\alpha_{cr} = 4.571$ ) através do aumento de rigidez (ver Fig. 40).

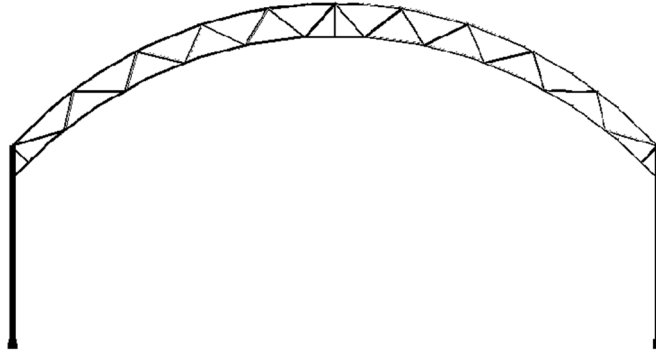


Fig. 40 – Solução alternativa adotando uma treliça ao longo do arco.

Em relação ao acréscimo percentual de utilização do aço, o modelo apresentou valores de 15% tanto para o modelo M1 como M2, 17% para o modelo M3 e no modelo M4 de 13%, com um valor de 3.92 kg/m<sup>2</sup>. No entanto esta solução poderá ser aquela que apresentará maiores custos de mão-de-obra devido à sua complexidade de execução.

# 6

## CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 6.1. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendeu-se compreender os motivos que levam aos frequentes danos nas estruturas e revestimentos das estufas, resultantes das elevadas velocidades do vento, especialmente durante o Inverno. Os danos resultantes dos estragos nas estruturas, revestimentos e nas culturas levam a avultados investimentos por parte do estado português e da União Europeia, tendo neste último ano sido suportados exclusivamente pelos produtores agrícolas.

Os produtores contactados eram exímios conhecedores da atividade agrícola, contudo o mesmo não se reflete no conhecimento das estruturas de estufas. De acordo com o levantamento efetuado verificou-se que um dos principais critérios na escolha das estufas era o preço, o que se manifestava diretamente na robustez da estrutura e na análise de risco realizadas pelas seguradoras.

A norma europeia EN13031-1 que regula o processo construtivo das estufas comerciais é desconhecida da maioria dos intervenientes, em especial os construtores. Este documento faculta procedimentos para o dimensionamento das estufas. No capítulo 5 constatou-se que de todas as empresas contactadas, apenas uma realizou um estudo aprofundado da sua estufa *standard*. Esta empresa era, a par de uma outra, aquelas que apresentavam maior resistência nas suas estruturas, sendo a primeira a única que referiu obter menores análises de risco por parte das seguradoras.

Quando analisados os pórticos desenvolvidos pelas empresas de construção, constatou-se que a ação do filme plástico no arco de cobertura é desvalorizada, não só no projeto, mas também na construção. Como a ação da pré-tensão do plástico é fundamental nas força de sucção do vento deveria de ser um ponto fundamental na verificação do arco das estufas, assim como da estrutura propriamente dita.

No presente estudo concluiu-se também que a utilização da norma EN 13031-1 permite realizar estruturas mais resistentes aos fenómenos atmosféricos, em especial o vento. Consequentemente, os produtores beneficiariam de melhores análises de risco, por parte das seguradoras, o que seria favorável para todos os agentes envolvidos nas estufas.

Na verificação estrutural, das 4 estruturas modeladas, foi possível concluir que as secções adotadas, em especial nos pilares, não permitiam cumprir os níveis de segurança mínimos. A alternativa seria adotar secções de maior dimensões e/ou adotar contraventamentos tanto ao nível dos pilares como do arco.

## **6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Ao longo do trabalho surgiram algumas questões que poderão ser alvo de investigação futuro. Sugerem-se de seguida alguns assuntos que poderão ser abordados em próximos trabalhos:

- Realização de estudos ao nível da pré-tensão do filme plástico, visto que é uma ação importante no arco da estrutura, visto que praticamente não foram encontrados estudos ao nível desta temática;
- Desenvolvimento de modelos de elementos finitos para avaliação das estruturas de uma forma global e local, em especial ao nível das ligações;
- Realização de estudos de monitorização de forma a validar os modelos desenvolvidos no dimensionamento;
- Desenvolvimento de soluções para o arco que permitam aumentar a sua rigidez e segurança, sem que se prejudiquem os diversos parâmetros com influência direta na produção;
- Desenvolvimento de estudos que permitam melhorar alguns aspetos das verificações das estruturas da EN 13031-2, de forma a estimular uma reformulação do documento.



## BIBLIOGRAFIA

Alberto, Nogueira da Silva & - Gravura do Palácio de Cristal. 1864. Disponível em WWW: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio\\_de\\_Cristal\\_%28Porto%29#mediaviewer/Ficheiro:ArchPitt-Porto-CrystalPalace.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio_de_Cristal_%28Porto%29#mediaviewer/Ficheiro:ArchPitt-Porto-CrystalPalace.jpg)>.

Antón, Assumpció; Torrellas, Marta; Raya, Vanesa; Montero, JuanI - Modelling the amount of materials to improve inventory datasets of greenhouse infrastructures. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 19. n.º 1 (2014). p. 29-41.

Athus-Bertrand, Yann - Vista aérea da região de Almeria, no Sul de Espanha SD. Disponível em WWW: <[http://www.yannarthusbertrand2.org/index.php?option=com\\_datagallery&Itemid=27&func=detail&catid=36&id=1922&p=1&l=1440](http://www.yannarthusbertrand2.org/index.php?option=com_datagallery&Itemid=27&func=detail&catid=36&id=1922&p=1&l=1440)>.

B. von Elsner; D. Briassoulis; D. Waaijenberg; A. Mistriotis; Chr. Von Zabeltitz; J. Gratraud; G. Russo; R. Suay-Cortes - Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II: typical designs. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 75. n.º 2 (2000). p. 111-126.

Baille, A - Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulturae*. Vol. 491. (1997). p. 37-48.

Bomford, Michael - Solar greenhouses, Chinese-style. 2010. Disponível em WWW: <<http://energyfarms.wordpress.com/2010/04/05/solar-greenhouses-chinese-style/>>.

Bouzo, Carlos A.; Norberto, F.; Gariglio - Recursos utilizados en clases - Tipos de Invernaderos. 2009.

Briassoulis, D.; Waaijenberg, D.; Gratraud, J.; von Elsner, B. - Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses Part 2: Quality Assessment. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 67. n.º 3 (1997a). p. 171-217. Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863497901554>>. 0021-8634

Briassoulis, D.; Waaijenberg, D.; Gratraud, J.; von Elsner, B. - Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 67. n.º 2 (1997b). p. 81-96. Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863497901542>>. 0021-8634

Bucklin, R. A. - Physical Greenhouse Design Considerations-Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook, Vol 2. Florida: University of Florida, 2013.

Budd, Christopher - New European Standard for the Design and Construction Greenhouses. 1997.

Costa, J. M.; Palha, M. G.; Vargues, A.; Ferreira, M. E.; Almeida, D. P. F. - Protected cultivation in Portugal: an investment for the 21st century? Lisbon: 2010.

Costa, JM; Reis, M; Passarinho, JA; Palha, MG; Carvalho, SMP; Ferreira, ME - Sustentabilidade sócio-ambiental da horticultura protegida em Portugal.

Critten, D. L.; Bailey, B. J. - A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 112. n.º 1 (2002). p. 1-22.

Delamotte, Philip Henry; Zambra, Negretti and - Views of the Crystal Palace. 1854 ? Disponível em WWW: <[http://www.sil.si.edu/silpublications/Worlds-Fairs/WF\\_object\\_images.cfm?book\\_id=191](http://www.sil.si.edu/silpublications/Worlds-Fairs/WF_object_images.cfm?book_id=191)>.

Elsner, B. von; Briassoulis, D.; Waaijenberg, D.; Mistriotis, A.; Zabeltitz, Chr. von; Gratraud, J.; Russo, G.; Suay-Cortes, R. - Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol. 75. n.º 1 (2000). p. 1-16. 0021-8634

Food and Agriculture Organization of the United Nations - El cultivo protegido en clima mediterráneo. 2002. Disponível em WWW: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/s8630S/s8630S00.pdf>>.

Giacomelli, Gene A; Roberts, William J - Greenhouse covering systems. HortTechnology. Vol. 3. n.º 1 (1993). p. 50-58.

Hemming, Silke; Waaijenberg, Dries; Campen, Jouke B; Bot, GPA - Development of a greenhouse system for tropical lowland in Indonesia. 2004. 9066055197

Hernández, Juan Carlos López; Parra., Jerónimo Pérez - Evolución de las estructuras de invernadero. Almería: Cajamar Caja Rural, 2006. Disponível em WWW: <<http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/evolucion-de-las-estructuras-de-invernadero/>>.

Horpozim - Horpozim – Associação dos Horticultores da Póvoa Varzim. 2012. Disponível em WWW: <<http://www.horpozim.pt/>>.

Horticultural College and Research Institute - Tnau agritech portal 2013. Disponível em WWW: <[http://agritech.tnau.ac.in/horticulture/horti\\_Greenhouse%20cultivation.html](http://agritech.tnau.ac.in/horticulture/horti_Greenhouse%20cultivation.html)>.

Instituto Nacional de Estatística, I.P. - Estatísticas Agrícolas 2011. Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.

Invernaderos El Pilar S.C.L. - Invernaderos El Pilar S.C.L. 2009. Disponível em WWW: <<http://www.inverelpilar.com/modelos.php?idTipo=35>>.

IPMA - Boletim climatológico mensal - Fevereiro 2014. 2014. Disponível em WWW: <[http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im\\_publicacoes/edicoes.online/20140519/DGnxcSgJdGsAlzOgbebm/cli\\_20140201\\_20140228\\_pcl\\_mm\\_co\\_pt.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im_publicacoes/edicoes.online/20140519/DGnxcSgJdGsAlzOgbebm/cli_20140201_20140228_pcl_mm_co_pt.pdf)>.

Iribarne, Luis; Torres, José Antonio; Peña, Araceli - Using computer modeling techniques to design tunnel greenhouse structures. Computers in Industry. Vol. 58. n.º 5 (2007). p. 403-415.

J. Vázquez; J. Pérez; A. J. Callejón; A. Carreño - Diseño de un nuevo capitel para invernaderos multitúnel. Informes de la Construcción. Vol. 63. n.º 521 (2011). p. 47-56.

Kendirli, Berna - Structural analysis of greenhouses: A case study in Turkey. Building and Environment. Vol. 41. n.º 7 (2006). p. 864-871.

Kumar, K. S.; Tiwari, K. N.; Jha, Madan K. - Design and technology for greenhouse cooling in tropical and subtropical regions: A review. Energy and Buildings. Vol. 41. n.º 12 (2009). p. 1269-1275.

Lamont, J.; William, J. - Overview of the use of high tunnels worldwide. *HortTechnology*. Vol. 19. n.º 1 (2009). p. 25-29. 1063-0198

Max, Johannes F. J.; Schurr, Ulrich; Tantau, Hans-Jürgen; Mutwiwa, Urbanus N.; Hofmann, Thomas; Ulbrich, Andreas - Horticultural Reviews. John Wiley & Sons, Inc., 2012. - Greenhouse Cover Technology.

Mistriotis, A.; Briassoulis, D. - Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 34. n.º 1-3 (2002). p. 191-205.

Montero, Juan L.; Teitel, Meir; Baeza, Esteban; Lopez, Juan C.; Kacira, Murat - Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas 2013.

Muñoz, Pere; Antón, Assumpció; Montero, Juan Ignacio - Tendencias en la construcción de invernaderos: normas cen y un sistema de control ambiental y posibilidades de mecanización de operaciones de cultivo y riego. 2013. Disponível em WWW: <[http://www.ruralcat.net/migracio\\_resources/hivernacles.pdf](http://www.ruralcat.net/migracio_resources/hivernacles.pdf)>.

Pardossi, Alberto; Tognoni, Franco; Incrocci, Luca - Mediterranean greenhouse technology. *Chronica Hort.* Vol. 44. n.º 2 (2004). p. 28-34.

Pérez, Jerónimo; López, Juan; Fernández, María Dolores - La Agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura Almeriense (Agriculture in SE Spain: current situation and trends in productive structures in the horticulture business in the province of Almería). *La Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI. Instituto de Estudios Socioeconómicos de Cajamar*. (2002). p. 262-282.

S/A - Serres Royales de Laeken. <http://visitbrussels.be>; SD. Disponível em WWW: <[http://visitbrussels.be/bitc/BE\\_en/monument/784/serres-royales-de-laeken.do](http://visitbrussels.be/bitc/BE_en/monument/784/serres-royales-de-laeken.do)>.

standardization, European committee for - Greenhouses: Design and construction - Part 1: commercial production greenhouses. Brussels: 2001.

Ubolsook, Putthadee; Thepa, Sirichai - Structural Analysis of Bamboo Trusses Structure in Greenhouse. 2011.

University of Kentucky - Greenhouses and Similar Structures - An Overview. Kentucky: University of Kentucky - College of Agriculture, Food and Environment, 2011. Disponível em WWW: <<http://www.uky.edu/Ag/CCD/introsheets/greenhouse.pdf>>.

USGR - U.S. Global Resources. 2014. Disponível em WWW: <<http://www.usgr.com/index.php>>.

Waaijenberg, Dries - Design, construction and maintenance of greenhouse structures. 2004.

Walker, John N.; Duncan, George A. - Greenhouse structures. university of Kentucky - department of agricultural engineering, 1973.

wunderground - wunderground. 2014. Disponível em WWW: <<http://www.wunderground.com/history/airport/LPPR/2014/2/10/DailyHistory.html>>.

Yang, Zai Q.; Li, Yong X.; Xue, Xiao P.; Huang, Chuan R.; Zhang, Bo - Wind Loads on Single-span Plastic Greenhouses and Solar Greenhouses. *HortTechnology*. Vol. 23. n.º 5 (2013). p. 622-628. 1063-0198

Zabeltitz, Christian von - Appropriate greenhouse constructions for mild climates. *Der Tropenlandwirt-Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics*. Vol. 91. n.º 1 (1990). p. 65-77.

## ANEXOS I – CÁLCULO DA AÇÃO DO VENTO E PRÉ-TENSÃO DO FILME PLÁSTICO

### 1. DADOS AUXILIARES

Parâmetro	Valor	Unidades
T (Período)	5.00	m
h	5.20	m
H <sub>pilar</sub>	3.00	m
h <sub>arco</sub>	2.20	M
C <sub>dir</sub>	1.00	
C <sub>season</sub>	1.00	
V <sub>b.o</sub>	30.00	m/s
z <sub>o</sub>	0.05	m
z <sub>min</sub>	3.00	m
z <sub>max</sub>	200.00	m
K <sub>r</sub>	0.19	
z <sub>0.II</sub>	0.05	M
z <sub>I</sub>	1.00	
C <sub>o</sub>	1.00	
C <sub>s</sub> C <sub>d</sub>	1.00	

### 2. VELOCIDADE DE REFERÊNCIA DO VENTO

V <sub>b</sub> (m/s)
30.00

### 3. VENTO MÉDIO

Z	$C_0(z)$	$V_m(z)$ (m/s)
1.00	0.78	23.34
2.00	0.78	23.34
3.00	0.78	23.34
4.00	0.83	24.98
5.00	0.87	26.25
6.00	0.91	27.29
4.10 (ze)	0.84	25.12
5.20 (zi)	0.88	26.47

### 4. PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO

Z	$C_0(z)$	$q_p$	$q_p(z)$ (N/m <sup>2</sup> )
1.00	1.64	340.41	558.27
2.00	1.64	340.41	558.27
3.00	1.64	340.41	558.27
4.00	1.70	389.92	662.87
5.00	1.80	430.65	775.16
6.00	1.95	465.42	907.57
4.10 (ze)	1.71	394.33	674.31
5.20 (zi)	1.83	438.01	801.56

## 5. TURBULÊNCIA DO VENTO

Z	$C_0(z)$ (m/s)
1.00	0.24
2.00	0.24
3.00	0.24
4.00	0.23
5.00	0.22
6.00	0.21
3.12 ( $z_s$ )	0.24

## 6. PRESSÕES EXTERNAS

ZONA		$C_{pe}$	$W_e$ (N/m <sup>2</sup> )
(A) 0°	<55°	0.30	202.29
	55° - 115°	-1.00	-674.31
	115° - 180°	-0.40	-269.72
(P) 0°	K	0.60	404.58
	L	-0.30	-202.29
	M	-0.30	-202.29
(P) 90°	N	-0.20	-134.86
	O	0.70	472.01
	P	-0.30	-202.29

## 7. PRESSÕES INTERNAS

ZONA		$C_{pi}$	$W_i$ (N/m <sup>2</sup> )
0°	1 vão	0.20	134.86
		-0.40	-269.72
90°		0.20	134.86
		-0.10	-67.43
qp(zl)		-202.29	

## 8. FORÇAS EXTERIORES

Zona		$A_{ref}$ (m <sup>2</sup> )	$W_e$ (N/m <sup>2</sup> )	Forças exteriores (N)
(A) 0°	<55°	10.45	202.29	2113.95
	55° - 115°	6.10	-674.31	-4113.26
	115° - 180°	11.58	-269.72	-3122.03
$\Sigma W_e * A_{ref}$				-5121.35
$C_s C_d * \Sigma W_e * A_{ref}$				-5121.35
(P) 0°	K	7.50	404.58	3034.37
	L	7.50	-202.29	-1517.19
	M		-202.29	0.00
$\Sigma W_e * A_{ref}$				1517.19
$C_s C_d * \Sigma W_e * A_{ref}$		CsCd	1.00	1517.19



## 9. FORÇAS INTERIORES

Zona		$A_{ref}$ (m <sup>2</sup> )	$W_i$ (N/m <sup>2</sup> )	Forças interiores (N)
0°	0°-55°	7.50	134.86	1011.46
	55°-90°	14.08	134.86	1898.17
	90°-115°	7.50	-269.72	-2022.92
	115°-180°	14.08	-269.72	-3796.34
90°	0°-55°	7.50	134.86	1011.46
	55°-90°	14.08	134.86	1898.17
	90°-115°	7.50	-67.43	-505.73
	115°-180°	14.08	-67.43	-949.08
$\Sigma w_i * A_{ref}$				-1454.81

## 10. CÁLCULO DA RESULTANTE DA AÇÃO DO VENTO E PRÉ-TENSÃO DO PLÁSTICO – 1ª ITERAÇÃO

Ações					
Ângulo	Raio (m)	Vento (N/m <sup>2</sup> )	Pré-tensão (N/m <sup>2</sup> )	Total	
0°-55°	2.50	337.15	800.00	1137.15	OK
55°-90°	2.20	-539.44	909.09	369.65	OK
90°-115°	2.20	-944.03	909.09	-34.94	KO
115°-180°	2.37	-539.44	843.88	304.44	OK

## 11. CÁLCULO DA RESULTANTE DA AÇÃO DO VENTO E PRÉ-TENSÃO DO PLÁSTICO – 1ª ITERAÇÃO

Ações					
Ângulo	Raio (m)	Vento (N/m <sup>2</sup> )	Pré-tensão (N/m <sup>2</sup> )	Total	
0°-55°	2.50	337.15	1153.80	1490.95	OK
55°-90°	2.20	-539.44	1311.14	771.69	OK
90°-115°	2.20	-944.03	1311.14	367.11	OK
115°-180°	2.37	-539.44	1217.09	677.64	OK